



**Titulació:**

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials (GrETI)

**Alumna:**

Eva Sánchez Lupiáñez

**Títol del Treball de Fi de Grau:**

---

***ESTUDI DE VIABILITAT I PROJECTE BÀSIC D'UNA  
INSTAL·LACIÓ EÒLICA AL LICEO EGARA DE TERRASSA***

---

**Director del Treball de Fi de Grau:**

Daniel Garcia Almiñana

**Convocatòria de Lliurament del Treball de Fi de Grau:**

Ordinària – Quadrimestre de Primavera (2017)

**Data d'Entrega:**

10 de Juny del 2017

**Contingut del Document:**

---

**DOCUMENT 1 - MEMÒRIA**

## Resum

El document present queda inclòs dintre del Treball de Final de Grau “*Estudi de viabilitat i projecte bàsic d’una instal·lació eòlica al Liceo Egara de Terrassa*”, realitzat per l’alumna Eva Sánchez Lupiáñez, estudiant de Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials.

L’objecte de la “*Memòria*” és, en primer lloc avaluar el recurs eòlic disponible al centre educatiu *Liceo Egara* situat al municipi de Terrassa, en la província de Barcelona. Amb les dades resultants de l’esmentat estudi es consideren i analitzen diferents opcions d’instal·lacions minieòliques. Finalment es desenvolupa el projecte referent a la solució més adequada de sistema minieòlic.

El treball mostrat a continuació cerca un estalvi econòmic derivat del cobriment parcial energètic proporcionat per la instal·lació eòlica de baixa potència definida. Addicionalment pretén divulgar i promocionar l’ús de les energies renovables, així com atribuir funcions educatives al projecte final, desenvolupant el treball en consonància amb la legislació vigent actual. Conseqüentment, el projecte abasta aspectes econòmics, mediambientals i educatius.

El contingut del document “*Memòria*” conté una petita introducció al tema i la tecnologia a tractar durant el treball, així com una breu aportació d’informació sobre l’escola *Liceo Egara* on s’ubica la instal·lació. Seguidament, tal com s’ha comentat anteriorment, es duu a terme una avaluació dels diferents paràmetres que intervenen en el procés de selecció del sistema minieòlic més adequat. Finalment es considera la viabilitat del projecte, tant econòmica com mediambiental, tenint en compte les decisions preses i s’emet la justificació final del treball.

Per dur a terme el procés anterior, s’inicia l’estudi amb l’anàlisi de les factures elèctriques proporcionades pel centre educatiu *Liceo Egara* amb l’objectiu de determinar la demanda energètica d’aquest. Per una altra part, es realitza l’estudi sobre el recurs eòlic de la zona i en relació als resultats obtinguts es desenvolupa una cerca de mercat per assolir el model d’aerogenerador de baixa potència més adequat per al sistema. Seguidament s’estableix la ubicació de la instal·lació minieòlica i es determinen els components finals que formen el sistema. Addicionalment es proporciona la informació necessària per al seu muntatge, operació i manteniment. Finalment es presenten les avaluacions econòmica i mediambiental i es determina la viabilitat del projecte.

El document “*Memòria*” també inclou una proposta de projecte educatiu, el qual presenta diverses vies de finançament.

## Abstract

The present document is included in the Final Degree Work “*Feasibility study and basic design of a wind installation on the school Liceo Egara in Terrassa*” of the student of the Engineering on Industrial Technologies degree, Eva Sanchez Lupiáñez.

The purpose of the “*Report*” is, in first place assess the available wind resources in the school *Liceo Egara*, located in the municipality of Terrassa, province of Barcelona. With the resulting data of the study various options of wind power installations are considered and discussed. Finally, the project is developed regarding the most appropriate solution of a wind power system.

The following work searches an economical saving derived from the partial energy covering provided by the wind low-power installation defined. Additionally, it intends to disseminate and promote the use of renewable energies, as well as the attribution of educational functions to the final project, developing the work in line with the current legislation. Consequently, the project covers economic, environmental and educational aspects.

The content of the document “*Report*” contains a short introduction about the topic and the technology to be discussed during the work, as well as a brief input of information about *Liceo Egara* educational centre, where the facility is located. Then, as mentioned above, it is carried out an assessment of the different parameters involved in the selection process of the most suitable small-wind system. Finally, it is considered the feasibility of the project, both economic and environmental, taking into account the decisions taken and the final justification of the work is issued.

To carry out the above process, the study begins with the analysis of electrical bills provided by the school *Liceo Egara* in order to determine its energy demands. On the other hand, the study about the wind resource in the area is carried out and in relation with the results a market research is developed to achieve the most suitable low-power turbine model system. Next, the location of the installation is set and the final components of the system are determined. In addition, the information needed for the assembly, operation and maintenance is provided. To conclude, the economic and environmental evaluations are presented and the viability of the project is established.

The document “*Report*” also includes an educational proposal, which presents several ways of financing the project.

---

## CONTINGUT DE MEMÒRIA

---

Resum .....	1
Abstract .....	2
1. Introducció .....	13
1.1. Objectiu del Projecte.....	13
1.2. Justificació del Projecte .....	13
1.3. Abast del Projecte .....	14
1.4. Requeriments Bàsics del Projecte .....	15
2. Estat de l'Art .....	16
2.1. Concepte d'Energia Eòlica .....	16
2.1.1. La Gran Eòlica .....	16
2.1.2. L'Energia Minieòlica .....	16
2.2. Concepte d'Aerogenerador.....	17
2.2.1. Classificació dels Mini-aerogeneradors .....	18
2.2.2. Components d'un Mini-aerogenerador .....	19
3. El Centre Educatiu.....	21
3.1. Informació sobre el <i>Liceo Egara</i> .....	21
3.1.1. Oferta del Centre Educatiu.....	21
3.1.2. Situació i Emplaçament del Centre Educatiu.....	22
4. Context Energètic .....	26
4.1. Conceptes Bàsics sobre Factures Elèctriques.....	26
4.2. Tractament de les Factures Elèctriques.....	28
4.2.1. Consums.....	29
4.3. Necessitats Energètiques .....	32
5. Recurs Eòlic .....	34
5.1. El Vent.....	34
5.2. Tractament de les Dades del Vent.....	35
5.2.1. Distribució de Weibull.....	35
5.2.2. Aplicació del Mètode .....	36
5.2.3. Estudi del Vent en el Centre Educatiu <i>Liceo Egara</i> .....	36

6.	Aerogenerador Eòlic de Baixa Potència.....	39
6.1.	Anàlisi i Recerca de Mercat .....	39
6.2.	Estudi dels Aerogeneradors Eòlics de Baixa Potència.....	46
6.2.1.	Establiment de les Possibles Solucions .....	46
6.2.2.	Cobriment de la Demanda Energètica .....	46
6.2.3.	Mètode d'Avaluació d'Alternatives: VTP .....	50
7.	Ubicació de la Instal·lació Minieòlica.....	53
7.1.	Aspectes Energètics.....	53
7.2.	Aspectes d'Impacte Visual.....	56
7.2.1.	Projecte Educatiu.....	56
7.2.2.	Benestar Públic.....	57
7.3.	Aspectes Acústics .....	60
7.4.	Aspectes de seguretat.....	66
7.5.	Altres aspectes a considerar.....	68
7.6.	Ubicació Final.....	69
8.	Sistema Elèctric.....	71
8.1.	Tipus d'Instal·lacions Elèctriques de la Minieòlica .....	71
8.2.	Estudi d'Alternatives sobre el Sistema Elèctric .....	72
8.2.1.	Alternativa d'emmagatzematge: Implementació d'un sistema de bateries	72
8.2.2.	Alternativa de Connexió Directa a la Xarxa Elèctrica.....	74
8.3.	Decisió Final sobre el Sistema Elèctric .....	75
9.	Muntatge, Operació i Manteniment.....	77
9.1.	Manteniment.....	77
10.	Marc Legislatiu.....	79
10.1.	Resum de la Legislació i Normativa Vigents.....	79
11.	Marc Mediambiental.....	82
11.1.	Anàlisi del Cicle de Vida.....	82
11.1.1.	Inventari de Materials .....	83
11.1.2.	Inventari de Processos .....	86
11.1.2.1.	Processos Primaris .....	86

11.1.2.2.	Processos Secundaris o dintre de l'abast de INVAP Enginyeria S.A.	87
11.2.	Anàlisi de Sensibilitat .....	87
11.2.1.	Factor de Càrrega .....	88
11.2.2.	Vida Útil.....	92
11.3.	Balanç Energètic.....	95
12.	Marc Econòmic .....	99
12.1.	Pressupost del Projecte .....	99
12.2.	Viabilitat Econòmica del Projecte .....	100
12.2.1.	Costos sobre la Instal·lació Minieòlica .....	100
12.2.2.	Guany Econòmic sobre la Instal·lació Minieòlica.....	102
12.2.2.1.	Escenari Optimista .....	102
12.2.2.2.	Escenari Pessimista .....	103
12.2.3.	Índex de Retorn de la Inversió (ROI) .....	105
12.2.4.	Balanç Econòmic sobre la Instal·lació Minieòlica.....	107
12.3.	Proposta de Millora en la Facturació Elèctrica de l'Escola.....	108
12.4.	Propostes de Finançament del Projecte.....	112
12.4.1.	Aportació de les Famílies .....	113
12.4.2.	Crowdfunding .....	115
12.4.3.	Subvencions de Sistemes Institucionals .....	116
13.	Marc Educatiu .....	118
13.1.	Disseny i Descripció del Projecte Educatiu .....	118
13.1.1.	Instal·lació Minieòlica .....	118
13.1.2.	Maqueta a Escala.....	120
14.	Conclusions .....	124
15.	Bibliografia i Webgrafia .....	127
15.1.	Fonts Bibliogràfiques.....	127
15.2.	Fonts Digitals .....	127

---

## **SUMARI DE TAULES**

---

<b>Taula 1.</b> Principals diferències presentades entre la gran eòlica i la minieòlica [1]	17
<b>Taula 2.</b> Distribució horari dels períodes tarifaris relatius a la tarifa 3.0A.....	26
<b>Taula 3.</b> Exemple de factura relativa al període comprés entre el 31/05/2015 i el 30/06/2015. Annex III del Document 4 – Annexos .....	27
<b>Taula 4.</b> Relació entre la lectura del màxímetre i la potència facturada (PF: Potència Facturada, PM: Potència registrada pel Màxímetre i PC: Potència Contractada).....	28
<b>Taula 5.</b> Resum de les dades més significatives sobre el consum en el centre Liceo Egara .....	30
<b>Taula 6.</b> Càlcul dels consums mitjans experimentats al centre Liceo Egara .....	31
<b>Taula 7.</b> Informació relativa al node d'estudi del vent localitzat en l'escola Liceo Egara [16].....	36
<b>Taula 8.</b> Opcions de sistema minieòlic proposades. Annex V del Document 4 – Annexos .....	39
<b>Taula 9.</b> Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador ECO – 2kW [35] .....	40
<b>Taula 10.</b> Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador Aeolos – H 3kW [34] .....	41
<b>Taula 11.</b> Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador Aeolos – H 5kW [34] .....	42
<b>Taula 12.</b> Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador Bornay 6kW [32] .....	43
<b>Taula 13.</b> Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador HYE – 3000 .....	44
<b>Taula 14.</b> Producció energètica total del model ECO – 2kW (2 unitats). Annex IV .....	48
<b>Taula 15.</b> Producció energètica total del model Aeolos – H 3kW (2 unitats). Annex IV .....	48
<b>Taula 16.</b> Producció energètica total del model Aeolos – H 5kW (1 unitat). Annex IV .....	48
<b>Taula 17.</b> Producció energètica total del model Aeolos – H 5kW (2 unitats). Annex IV .....	49

<b>Taula 18.</b> Producció energètica total del model Bornay 6kW (1 unitat). Annex IV .....	49
<b>Taula 19.</b> Producció energètica total del model Bornay 6kW (2 unitats). Annex IV .....	49
<b>Taula 20.</b> Producció energètica total del model HYE – 3000 (2 unitats). Annex IV .....	49
<b>Taula 21.</b> Producció energètica total del model HYE – 3000 (3 unitats). Annex IV .....	50
<b>Taula 22.</b> Establiment dels pesos relatius a cada factor analitzat. Annex IV.....	51
<b>Taula 23.</b> Valoració de cada opció de sistema minieòlic en funció dels factors analitzats. Annex IV .....	51
<b>Taula 24.</b> Quadre resum dels resultats obtinguts mitjançant el mètode VTP. Annex IV .....	51
<b>Taula 25.</b> Comparació dels dos possibles sistemes de suport de la turbina analitzats .....	54
<b>Taula 26.</b> Quadre resum dels impactes visuals considerats i les seves possibles solucions .....	58
<b>Taula 27.</b> Dades extretes de l'estudi sonor de l'aerogenerador Bornay 6kW. Annex VII.....	62
<b>Taula 28.</b> Resum dels nivells límit d'immissió sonora considerant els diferents casos possibles. Annex VIII .....	66
<b>Taula 29.</b> Quadre resum dels aspectes considerats en la ubicació del sistema minieòlic amb la corresponent atribució del grau d'importància de cadascun ....	69
<b>Taula 30.</b> Característiques i especificacions dels models de bateries proposats [24] .....	73
<b>Taula 31.</b> Quadre resum dels inconvenients i avantatges de les alternatives de sistema elèctric proposades .....	75
<b>Taula 32.</b> Resum dels elements sotmesos a revisió que formen el model d'aerogenerador Bornay 6kW. Annex XIII .....	78
<b>Taula 33.</b> Resum de la legislació vigent relacionada amb el sector energètic de la minieòlica. Annex X .....	79
<b>Taula 34.</b> Modalitats de subministrament elèctric segons el tipus d'autoconsum [25] .....	80
<b>Taula 35.</b> Disposició dels equips de mesura en funció del tipus d'autoconsum [25] .....	80



<b>Taula 36.</b> Components del sistema minieòlic emprat en l'anàlisi d'inventari d'una turbina minieòlica [41] .....	84
<b>Taula 37.</b> Inventari de materials implicats en el model de turbina minieòlica IVS 4500 (I) [41] .....	84
<b>Taula 38.</b> Inventari de materials implicats en el model de turbina minieòlica IVS 4500 (II) [41] .....	85
<b>Taula 39.</b> Inventari de materials implicats en el model de turbina minieòlica IVS 4500 (III) [41] .....	86
<b>Taula 40.</b> Maquinària i processos emprats en la producció del model de mini-aerogenerador IVS 4500 [41] .....	87
<b>Taula 41.</b> Establiment dels diferents impactes ambientals tractats en el present estudi .....	88
<b>Taula 42.</b> Rang de factors de càrrega en funció de la generació energètica anual [29] .....	89
<b>Taula 43.</b> Equacions per a l'estimació de cada impacte ambiental, on FC és factor de càrrega [29] .....	90
<b>Taula 44.</b> Càlcul dels diferents impactes ambientals considerats per un factor de càrrega del 21,7% .....	90
<b>Taula 45.</b> Balanç ambiental derivat de la instal·lació minieòlica prevista al centre educatiu Liceo Egara .....	94
<b>Taula 46.</b> Llista del materials presents a l'aerogenerador de 2MW de potència [42] .....	95
<b>Taula 47.</b> Processos de producció [42] .....	96
<b>Taula 48.</b> Estimació de les emissions en les diferents etapes del cicle de vida de l'aerogenerador de 2MW [42] .....	96
<b>Taula 49.</b> Consums i emissions totals del sistema minieòlic format per les turbines Bornay 6kW durant l'anàlisi del cicle de vida .....	98
<b>Taula 50.</b> Valors del coeficient de potencial de canvi climàtic [30] .....	98
<b>Taula 51.</b> Costos totals associats a l'execució final del projecte. Document 2 – Pressupost .....	99
<b>Taula 52.</b> Resum dels costos finals assumits en l'estudi de viabilitat econòmica del projecte .....	101
<b>Taula 53.</b> Guany econòmic generat per la instal·lació minieòlica durant els anys de vida útil, segons l'escenari plantejat .....	104
<b>Taula 54.</b> Balanç econòmic final segons l'escenari plantejat .....	107

<b>Taula 55.</b> Facturació del consum energètic segons els períodes tarifarís (62 kW de potència contractada a cada període) .....	109
<b>Taula 56.</b> Resultats derivats de l'aplicació d'un mètode iteratiu per determinar la potència de contractació òptima .....	110
<b>Taula 57.</b> Resum final de la potència òptima a contractar pel centre educatiu Liceo Egara.....	112
<b>Taula 58.</b> Resum de les dades quantitatives referents a l'alumnat del centre educatiu Liceo Egara .....	114
<b>Taula 59.</b> Dades relatives a la recaptació econòmica provinent de les famílies del centre .....	114
<b>Taula 60.</b> Especificacions relatives al model de tòtem OBIDOS proveït per l'empresa DPAPEL [27] .....	119
<b>Taula 61.</b> Especificacions del model de comptador proporcionat per Cablematic [40] .....	120
<b>Taula 62.</b> Preu relatiu a la modalitat de maqueta de mini-aerogenerador (inclou mà d'obra, elaboració del projecte, caixa d'embalatge i transport). Annex XI...	121
<b>Taula 63.</b> Especificacions relatives al model de faristol informatiu proveït per l'empresa DPAPEL [27] .....	123
<b>Taula 64.</b> Cobertura energètica i energia generada per la instal·lació segons l'escenari presentat.....	124
<b>Taula 65.</b> Retorn de la inversió inicial en anys en funció de l'escenari presentat .....	125
<b>Taula 66.</b> Resum del balanç econòmic derivat de la instal·lació minieòlica segons l'escenari presentat.....	125

---

## **SUMARI DE FIGURES**

---

<b>Figura 1.</b> Tipus de mini-aerogeneradors: HAWT i VAWT .....	18
<b>Figura 2.</b> Parts d'un mini-aerogenerador d'eix horitzontal (HAWT) [1].....	20
<b>Figura 3.</b> Ubicació general del centre educatiu Liceo Egara [31].....	22
<b>Figura 4.</b> Ubicació concreta del centre educatiu Liceo Egara a la ciutat de Terrassa [31] .....	22
<b>Figura 5.</b> Establiment dels edificis que formen part del centre educatiu Liceo Egara (esquema) [31] .....	23

<b>Figura 6.</b> Establiment dels edificis que formen part del centre educatiu Liceo Egara (imatge satèl·lit) [31] .....	24
<b>Figura 7.</b> Establiment dels edificis que formen part del centre educatiu Liceo Egara (detall) [31].....	24
<b>Figura 8.</b> Consums mensuals del centre Liceo Egara (2015-2016) amb la mitjana corresponent. Annex III del Document 4 – Annexos .....	29
<b>Figura 9.</b> Demanda energètica del centre Liceo Egara segons el període tarifari. Annex III del Document 4 – Annexos .....	31
<b>Figura 10.</b> Situació de l'escola Liceo Egara en l'eina digital i valors obtinguts pel node d'estudi [16] .....	37
<b>Figura 11.</b> Corba de Weibull corresponent al punt d'estudi situat a l'escola Liceo Egara. Annex IV del Document 4 - Annexos .....	37
<b>Figura 12.</b> Exemple real de dues turbines del model ECO – 2kW [35] .....	40
<b>Figura 13.</b> Exemple real del model de turbina Aeolos – H 3kW [34].....	41
<b>Figura 14.</b> Exemple en 3D del model d'aerogenerador Aeolos – H 3kW [34] ...	41
<b>Figura 15.</b> Exemple real del model de turbina Aeolos – H 5kW (II) [34].....	42
<b>Figura 16.</b> Exemple real del model de turbina Aeolos – H 5kW (I) [34].....	42
<b>Figura 17.</b> Exemple real del model de turbina Bornay 6kW (II) [32].....	43
<b>Figura 18.</b> Exemple real del model de turbina Bornay 6kW (I) [32].....	43
<b>Figura 19.</b> Exemple real del model de turbina HYE – 3000 (II).....	44
<b>Figura 20.</b> Exemple real del model de turbina HYE – 3000 (I).....	44
<b>Figura 21.</b> Corbes de potència relatives als models de mini-aerogeneradors analitzats. Annex IV .....	45
<b>Figura 22.</b> Energia generada per cada model de mini-aerogenerador analitzat en funció de la velocitat del vent registrada. Annex V .....	45
<b>Figura 23.</b> Col·locació del mini-aerogenerador segons els obstacles presents al terreny [1] .....	53
<b>Figura 24.</b> Primera proposta de col·locació de les turbines minieòliques Bornay 6kW [31] .....	55
<b>Figura 25.</b> Especificació de la zona d'esbarjo des d'on els artefactes han de ser visualitzats [31] .....	56
<b>Figura 26.</b> Efecte d'enlluernament provocat per les aspes de la turbina minieòlica .....	57
<b>Figura 27.</b> Patró d'ombres de la “turbina A” corresponent al mes de Gener [17].....	59

<b>Figura 28.</b> Patró d'ombres de la "turbina B" corresponent al mes de Gener [17]	59
<b>Figura 29.</b> Formació de l'anomenat remolí de punta de l'ala .....	61
<b>Taula 27.</b> Dades extretes de l'estudi sonor de l'aerogenerador Bornay 6kW. Annex VII.....	62
<b>Figura 30.</b> Comparació del nivell sonor de l'ambient i el nivell sonor en presència de la turbina eòlica Bornay 6kW en relació amb la velocitat del vent registrada.	62
<b>Figura 31.</b> Factor de correcció sonora en funció de temperatura i pressió [19] .	63
<b>Figura 32.</b> Proposta d'ubicació final del sistema minieòlic [31] .....	70
<b>Figura 33.</b> Esquema de l'alternativa de sistema elèctric d'emmagatzematge ....	74
<b>Figura 34.</b> Esquema de l'alternativa de sistema elèctric connectat directament a la xarxa .....	75
<b>Figura 35.</b> Esquema del sistema elèctric final aplicat a la instal·lació minieòlica	76
<b>Figura 36.</b> Especificació de la localització de la Sala Dipòsit i els Comptadors [31] .....	76
<b>Figura 37.</b> Esquema de l'anàlisi del cicle de vida d'un mini-aerogenerador tenint en compte l'abast "bressol a tomba" [41] .....	82
<b>Figura 38.</b> Etapes presents en el cicle de vida d'una turbina minieòlica [41] .....	83
<b>Figura 39.</b> Representació gràfica dels diferents impactes ambientals considerats per un factor de càrrega del 21,7%.....	91
<b>Figura 40.</b> Contribució dels impactes ambientals analitzats segons l'etapa del cicle de vida de la turbina minieòlica presentada [29] .....	91
<b>Figura 41.</b> Comparació del resultat dels impactes ambientals segons el factor de càrrega presentat (influència del factor de càrrega) [29] .....	92
<b>Figura 42.</b> Canvi dels impactes ambientals en relació amb la vida útil del sistema minieòlic [29].....	93
<b>Figura 43.</b> Exemple de factura proporcionada pel centre Liceo Egara d'on s'extreu el factor d'emissió de CO <sub>2</sub> .....	93
<b>Figura 44.</b> Energia consumida en les etapes considerades en l'ACV .....	97
<b>Figura 45.</b> Emissions de CO <sub>2</sub> equivalent en les etapes considerades en l'ACV	97
<b>Figura 46.</b> Gràfic sobre els costos presents en la factura elèctrica durant els mesos d'estudi .....	104
<b>Figura 47.</b> Representació gràfica del ROI en els tres escenaris plantejats .....	106
<b>Taula 54.</b> Balanç econòmic final segons l'escenari plantejat .....	107

<b>Figura 48.</b> Representació gràfica per períodes tarifaris del consum energètic del centre educatiu .....	108
<b>Figura 49.</b> Estalvi presentat en el període 1 en funció de la potència contractada .....	111
<b>Figura 50.</b> Estalvi presentat en el període 2 en funció de la potència contractada .....	111
<b>Figura 51.</b> Estalvi presentat en el període 3 en funció de la potència contractada .....	112
<b>Figura 52.</b> Model de tòtem OBIDOS proveït per l'empresa DPAPEL [27].....	119
<b>Figura 53.</b> Localització aproximada del tòtem en la zona d'esbarjo [31] .....	119
<b>Figura 54.</b> Exemple real del model de comptador proporcionat per Cablematic [40] .....	120
<b>Figura 55.</b> Model 3 del mini-aerogenerador (I) .....	122
<b>Figura 56.</b> Model 3 del mini-aerogenerador (II) .....	122
<b>Figura 57.</b> Proposta sobre la localització de la maqueta [31] .....	122
<b>Figura 58.</b> Model de faristol proveït per l'empresa DPAPEL [27] .....	123

## 1. Introducció

### 1.1. Objectiu del Projecte

L'objectiu principal del present projecte és el dimensionament d'una instal·lació eòlica de proporcions reduïdes (apta per a ús domèstic), la qual serà connectada a la xarxa amb la finalitat de cobrir parcialment les necessitats elèctriques presents en l'escola concertada *Liceo Egara*, situada a la província de Barcelona, més concretament al municipi de Terrassa.

### 1.2. Justificació del Projecte

Recentment, Espanya ha experimentat un augment considerable en el preu de l'electricitat en el mercat majorista elèctric. Aquests preus que marca l'esmentat mercat suposen aproximadament el 35% del rebut de la llum que paguen al voltant de 25 milions de consumidors al país. La resta de la factura es completa amb els denominats peatges, els quals són fixats pel govern, i els impostos.

Davant d'aquesta situació en la qual els ciutadans es troben totalment subjectes al monopoli de les centrals elèctriques sorgeix una alternativa energètica: l'energia mini-eòlica.

La **micro-eòlica** o **mini-eòlica** és la millor alternativa d'autoconsum elèctric, tant en zones aïllades com en habitatges unifamiliars, empreses, escoles, hotels, etc. Mitjançant la instal·lació dels anomenats **aerogeneradors** s'aconsegueix aprofitar l'energia produïda pel vent en qualsevol moment de la jornada permetent així l'**autogeneració energètica**.

En termes econòmics, l'ús d'aquesta alternativa es tradueix en un estalvi monetari considerable, ja sigui per l'auto-proveïment o pel subministrament d'energia a la xarxa elèctrica. Addicionalment, el fet d'aconseguir un punt de generació energètica pròxim al mateix punt de consum redueix les pèrdues de transport i distribució d'electricitat.

Per una altra part, cal considerar que la mini-eòlica es tracta d'una font d'energia renovable i per tant no contamina, és inesgotable i redueix l'ús de combustibles fòssils, els quals són l'origen de les emissions d'efecte hivernacle que causen l'escalfament global. És per aquest motiu que aquesta alternativa suposa una contribució important en el desenvolupament sostenible i és de vital importància potenciar el seu ús eficient.

Sintetitzant totes les idees esmentades anteriorment, el projecte a desenvolupar sorgeix de la necessitat d'invertir temps i recursos en proporcionar alternatives

energètiques eficients i rentables per tal de potenciar aquests mitjans en la societat actual, i una molt bona manera d'abastar aquest objectiu és fusionant-lo amb l'educació. És per aquest motiu que l'edificació utilitzada és una escola en tant que, suposarà una millora econòmica pels implicats i un missatge social i educatiu.

### **1.3. Abast del Projecte**

L'abast d'aquest projecte contempla la realització de l'estudi per a la implantació d'un o diversos generadors eòlics en l'escola de Terrassa, Liceo Egara. Mitjançant aquest estudi es pretén determinar la viabilitat del projecte, la finalitat principal del qual és reduir els costos provinents de les factures elèctriques anuals de la institució i promocionar les energies renovables i netes. Incidint també en el desenvolupament de la solució final, definint la metodologia i el procés a dur a terme per aconseguir la instal·lació proposada. D'aquesta manera, serà necessari tenir en compte el pressupost a assumir, així com la organització temporal i els recursos per aconseguir finalitzar el projecte de manera satisfactòria en el període de temps establert.

Conseqüentment l'abast inclourà, per una part, totes aquelles activitats relacionades amb l'estudi de la viabilitat del projecte (tenint en compte estudis econòmics, mediambientals i legals) i per una altra part, les activitats destinades al desenvolupament i posada en marxa d'aquest.

Seguint aquesta línia de procediment, primerament es tindran en compte totes aquelles activitats destinades a analitzar i estudiar el recurs eòlic, caracteritzar els paràmetres necessaris per realitzar la instal·lació de l'aerogenerador o aerogeneradors i finalment escollir l'alternativa més adient.

Un cop escollida la millor alternativa es realitzaran les activitats focalitzades a desenvolupar i posar en marxa el projecte, tal com s'ha especificat anteriorment. Entre aquestes activitats figuren la decisió de la ubicació sobre el plànol de l'aerogenerador o aerogeneradors a l'escola, l'obra, el manteniment i la seguretat d'aquest. S'incidirà novament sobre els aspectes de legalitat i impacte mediambiental produïts per la instal·lació de l'artefacte o artefactes, aquest cop de manera més detallada, concreta i focalitzada.

A continuació, s'abordaran les activitats de caire econòmic i es realitzarà l'estudi pertinent tenint en compte els recursos utilitzats durant l'enginyeria bàsica, el cost del material i el cost requerit per la mà d'obra.

Finalment, es tindran en compte aquelles tasques destinades a l'àmbit social i educatiu del projecte.

#### 1.4. Requeriments Bàsics del Projecte

Durant l'execució del projecte serà necessari tenir en compte una sèrie de requeriments bàsics, els quals queden establerts a continuació:

- ✓ Cobrir un mínim del 15% de les necessitats energètiques anuals de l'edifici d'estudi.
- ✓ Recuperar la inversió realitzada en un termini màxim de 20 anys.
- ✓ Minimitzar la inversió inicial necessària amb l'objectiu d'augmentar la viabilitat del projecte.
- ✓ Reduir el possible impacte ambiental que pot presentar la instal·lació de l'aerogenerador.
- ✓ Proporcionar un ús docent a l'escola Liceo Egara i servir com espai educatiu.
- ✓ Contribuir en la millora de la consciència social en l'àmbit energètic promocionant energies renovables.



## 2. Estat de l'Art

El següent apartat pretén introduir una base teòrica sobre l'energia eòlica, donat que el projecte es fonamenta sobre aquest concepte.

Accedint a "l'Annex I del Document 4 – Annexos" es pot ampliar aquest apartat, ja que conté informació addicional i proporciona informació més detallada i concreta.

### 2.1. Concepte d'Energia Eòlica

*La radiació del sol escalfa desigualment l'atmosfera terrestre, contribuint a que existeixin masses d'aire amb diferents temperatures. Les masses càlides en ser més lleugeres tendeixen a ascendir, mentre que les fredes i més pesades tendeixen a descendir, generant moviments de masses d'aire que provoquen corrents de vent.*

*L'energia eòlica es defineix com el resultat de la transformació de l'energia cinètica, produïda per aquest vent, en energia mecànica mitjançant uns aparells anomenats aerogeneradors [1], sobre els quals s'aprofundirà més detalladament en l'apartat "2.3. Concepte d'Aerogenerador".*

*L'energia eòlica és un recurs abundant, renovable i net que ajuda a disminuir les emissions de gasos, en reemplaçar termoelèctriques a base de combustibles fòssils. [1]*

L'energia eòlica té dues variants: la gran eòlica i la minieòlica.

#### 2.1.1. La Gran Eòlica

*En l'energia gran eòlica, les grans dimensions dels aparells i la localització dels vents desemboquen en el fet que les instal·lacions tendeixen a estar ubicades en entorns naturals allunyats de les àrees urbanitzades, les quals es denominen parcs eòlics.*

*Per tant, es pot considerar que la gran eòlica està constituïda pels parcs eòlics formats per grans aerogeneradors amb una potència d'instal·lació per sobre dels 500 kW i estan dissenyats per a la seva connexió a la xarxa d'alta tensió.*

*Aquesta energia s'utilitza per abastir les ciutats i els centres de consum. [1]*

En referència al present projecte, la gran eòlica no serà tractada donat que aquest tipus d'instal·lacions queden fora de l'abast.

#### 2.1.2. L'Energia Minieòlica

*L'aprofitament de l'energia del vent varia segons el tipus d'aerogeneradors que s'utilitzin, anant des dels grans aparells per a la producció massiva d'electricitat per bolcar a la xarxa (gran eòlica), fins als petits aparells instal·lats a prop del punt de consum: energia minieòlica. D'aquesta manera, la producció amb energia minieòlica no es concentra en grans parcs, permetent introduir el concepte de **multigeneració**. El fet de poder instal·lar els mini-aerogeneradors a prop de les zones de consum facilita la **generació distribuïda**. [1]*

*La potència màxima establerta per considerar l'energia minieòlica no queda ben definida. No obstant això, la secció d'energia minieòlica de l'Associació de Productors d'Energies Renovables (APPA) estableix una potència màxima per considerar l'energia minieòlica de 100 kW. [1] Així doncs, l'APPA defineix l'energia minieòlica com l'aprofitament dels recursos eòlics mitjançant l'ús d'aerogeneradors de potències inferiors a 100 kW. Segons la normativa internacional, els molins destinats a aquesta tecnologia han de tenir un àrea d'escombrat inferior als 200 m<sup>2</sup>. [6]*

A mode de resum, el següent quadre presenta algunes de les principals diferències entre la gran eòlica i la minieòlica.

Gran Eòlica	Minieòlica
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tecnologia eficient i desenvolupada.</li> <li>✓ És una realitat que genera rendiments econòmics.</li> <li>✓ Necessita connexions costoses a xarxes d'alta tensió.</li> <li>✓ Està concebuda per bolcar a la xarxa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Encara no és eficient, ni tecnològicament ni econòmicament.</li> <li>✓ Encara no té una tecnologia competitiva ni un marc regulatori viable.</li> <li>✓ Es pot connectar amb cost reduït a xarxes de baixa tensió.</li> <li>✓ Es pot hibridar amb instal·lacions de plaques solars ja existents.</li> </ul>

**Taula 1.** Principals diferències presentades entre la gran eòlica i la minieòlica [1]

## 2.2. Concepte d'Aerogenerador

*Un aerogenerador és una màquina elèctrica, el funcionament de la qual es basa en transformar l'energia cinètica produïda pel vent en energia mecànica a través d'un rotor i en energia elèctrica gràcies a l'ús d'un alternador.*

*Actualment, les turbines modernes funcionen sota el principi de força de sustentació que es desenvolupa en la pala degut al seu disseny aerodinàmic, de manera similar a l'ala d'un avió. L'avenç en el disseny aerodinàmic i estructural de les pales, ha permès incrementar el rendiment de conversió a valors propers al límit teòric. [11]*

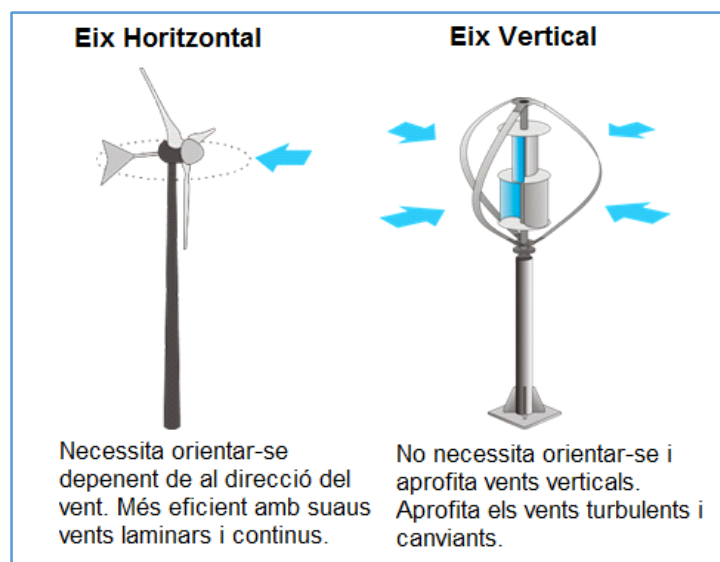
*L'aerogenerador és utilitzat tant per la gran eòlica com per la minieòlica. La diferència recau en les dimensions d'aquest aerogenerador, així com en la seva eficiència i el seu desenvolupament.*

Els següents apartats se centren en definir els aerogeneradors presents a l'energia minieòlica, donat que és l'àmbit definit pel projecte.

### 2.2.1. Classificació dels Mini-aerogeneradors

*La primera classificació que s'estableix entre els diferents models de mini-aerogeneradors es basa en la direcció de l'eix. Es distingeixen dos grans tipus.*

- ✓ *Aerogeneradors d'eix horitzontal (HAWT: Horizontal Axis Wind Turbine). Aquest tipus d'aerogeneradors es caracteritzen pel gir de les seves pales, el qual es produeix al voltant d'un eix paral·lel a la direcció del vent. Això implica que necessiten un mecanisme direccional per dur a terme aquesta alineació del seu eix amb la direcció del vent.*
- ✓ *Aerogeneradors d'eix vertical (VAWT: Vertical Axis Wind Turbine). En aquest cas, el gir de les pales al voltant de l'eix es caracteritza per ser perpendicular a la direcció del vent. El seu funcionament és indiferent a la direcció de la qual provingui el vent (omnidireccional) i toleren millor les turbulències. En conseqüència, els aerogeneradors d'eix vertical no necessiten cap element direccional i són estructuralment més simples que els aerogeneradors d'eix horitzontal. [1]*



**Figura 1.** Tipus de mini-aerogeneradors: HAWT i VAWT

### 2.2.2. Components d'un Mini-aerogenerador

*En aquest apartat es defineixen els components més habituals d'un aerogenerador d'eix horitzontal degut a ser el més comunament utilitzat.*

- ✓ **Rotor.** *El rotor és el conjunt de components de l'aerogenerador que gira en relació amb la gòndola i el seu objectiu principal és captar l'energia cinètica produïda pel vent i transformar-la en energia mecànica. El rotor està format per: les pales, la caixa (element que uneix les pales a l'eix o al sistema de rotació) i l'eix (comunica la caixa amb l'estator del generador, directament o mitjançant la caixa de canvis).*
- ✓ **Generador.** *Element que converteix l'energia mecànica disponible en l'eix del rotor de l'aerogenerador en energia elèctrica. El funcionament del generador elèctric es basa en l'acció que s'estableix entre el corrent elèctric i el camp magnètic. Els tipus de generadors disponibles al mercat actualment són els generadors de corrent continu, els generadors de corrent altern síncrons d'ímants permanents i els generadors de corrent altern asíncrons (inducció).*
- ✓ **Caixa de canvis.** *Consisteix en un conjunt d'engranatges que té com a missió regular la velocitat de l'eix del generador perquè aquest funcioni amb un nombre de voltes òptim.*

*La majoria dels dissenys de la minieòlica d'avui dia utilitzen connexió directa entre rotor i aerogenerador i no necessiten de caixa de canvis multiplicador.*

- ✓ **Corona de gir.** *Element que permet el gir de la gòndola (en els aerogeneradors d'eix horitzontal), perquè pugui orientar en la direcció correcta. Normalment està formada per rodaments que redueixen el fregament entre peces i milloren el rendiment de gir.*

*A l'interior de la corona de gir s'ubiquen els cables elèctrics que transporten l'energia produïda en el generador a la resta de la instal·lació. És important tenir en compte evitar la torsió dels cables elèctrics, produïda a causa del moviment de gir de la gòndola.*

- ✓ **Sistemes d'orientació.** *La potència desenvolupada pel rotor depèn de l'angle d'incidència entre la velocitat del vent i el pla de gir de les pales.*

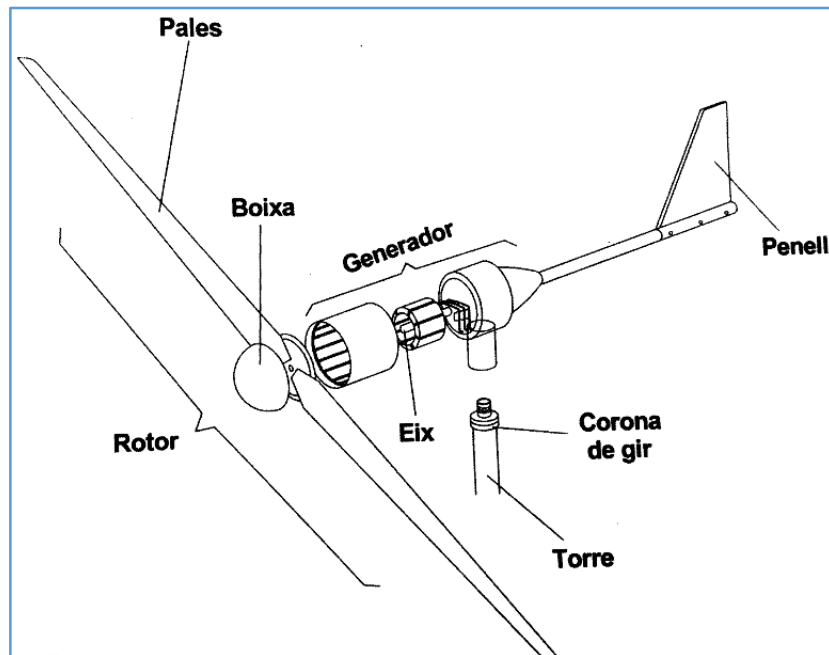
*En el cas dels aerogeneradors d'eix horitzontal, la variabilitat de la direcció del vent suposa la necessitat d'un sistema d'orientació. En canvi, en el cas dels aerogeneradors d'eix vertical aquest sistema no és necessari.*

*En la minieòlica, la gran majoria de sistemes d'orientació són passius, és a dir que les pròpies forces aerodinàmiques realitzen l'orientació, ja que el pes de l'estructura rotor-gòndola és relativament petit i pot ser orientat per la mateixa força del vent. El mecanisme passiu d'orientació més habitual és el penell de cua (es troba a la mateixa alçada i en línia recta a l'eix de l'aerogenerador) o*

de cua elevada (es troba sobre l'eix de l'aerogenerador a una alçada suficient per superar les turbulències produïdes per les pales).

Per la seva part, els sistemes d'orientació actius consisteixen en motors elèctrics o sistemes hidràulics i s'utilitzen quan el pes de l'estructura dificulta l'orientació automàtica.

- ✓ **Sistema de regulació.** La normativa UNE-EN 61400-2 exigeix que els aerogeneradors han d'utilitzar algun sistema de protecció per mantenir la màquina dins dels seus límits de disseny, finalitat que assumeix el sistema de regulació.
- ✓ **Sistema de fre.** Es tracta del cas extrem del sistema de regulació, que consisteix en la parada total de l'aerogenerador.
- ✓ **Torre de suport.** La seva funció és sustentar el mini-aerogenerador, situant-lo a una major altura, per sobre de les pertorbacions causades pel terreny i on els vents són uniformes i de major intensitat. [1]



**Figura 2.** Parts d'un mini-aerogenerador d'eix horitzontal (HAWT) [1]

### 3. El Centre Educatiu

Existeix la necessitat d'introduir un apartat en el treball que reuneixi tota la informació relativa a l'emplaçament on es realitza l'estudi de viabilitat i projecte bàsic de la instal·lació eòlica.

En conseqüència, el contingut presentat a continuació ofereix una visió detallada sobre el centre.

#### 3.1. Informació sobre el *Liceo Egara*

Primerament, es realitza una breu descripció del centre amb la finalitat de conèixer la institució objecte del projecte. La informació referent a l'escola que es presenta inicialment defineix la situació de l'escola en l'àmbit educatiu, incidint sobre els objectius, l'oferta i els serveis que aquesta ofereix.

*El Liceo Egara és un centre educatiu privat concertat per la Generalitat de Catalunya.*

*Fundada l'any 1970, aquesta entitat neix amb la voluntat d'esdevenir la millor opció educativa per a les famílies i afavorir el creixement acadèmic i personal dels infants per incorporar-se a la societat adequadament.*

*Actualment, l'escola en línies d'aconseguir aquest objectiu amplia les seves instal·lacions i oferta educativa per tal d'adaptar-se a les noves necessitats professionals i socials. [12]*

##### 3.1.1. Oferta del Centre Educatiu

El centre educatiu *Liceo Egara* ofereix la formació relativa a les etapes de *Llar d'Infants, Educació Infantil, Educació Primària i Educació Secundària*. En quant a línies futures, existeix la previsió d'incorporar l'etapa post-obligatòria de *Batxillerat*.

Adicionalment, posa en disposició de les famílies serveis d'acollida de matí i tarda, menjador, biblioteca, esplai d'estiu i extraescolars.

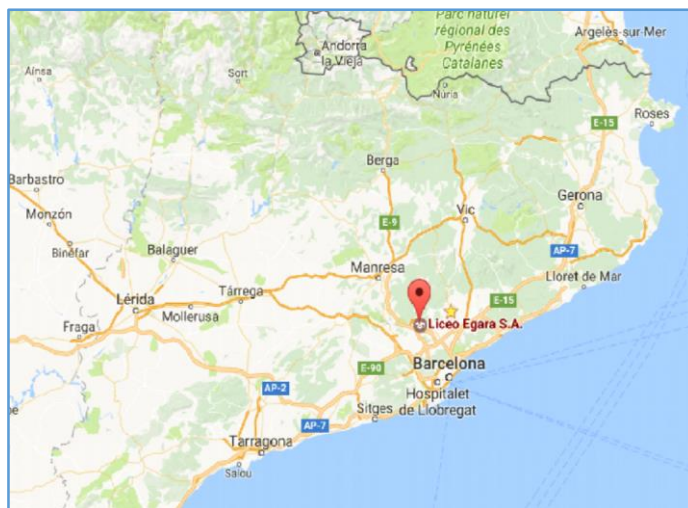
La informació relativa a aquest apartat es veu ampliada en el "*Document 4 – Annexos, Annex I*".



### 3.1.2. Situació i Emplaçament del Centre Educatiu

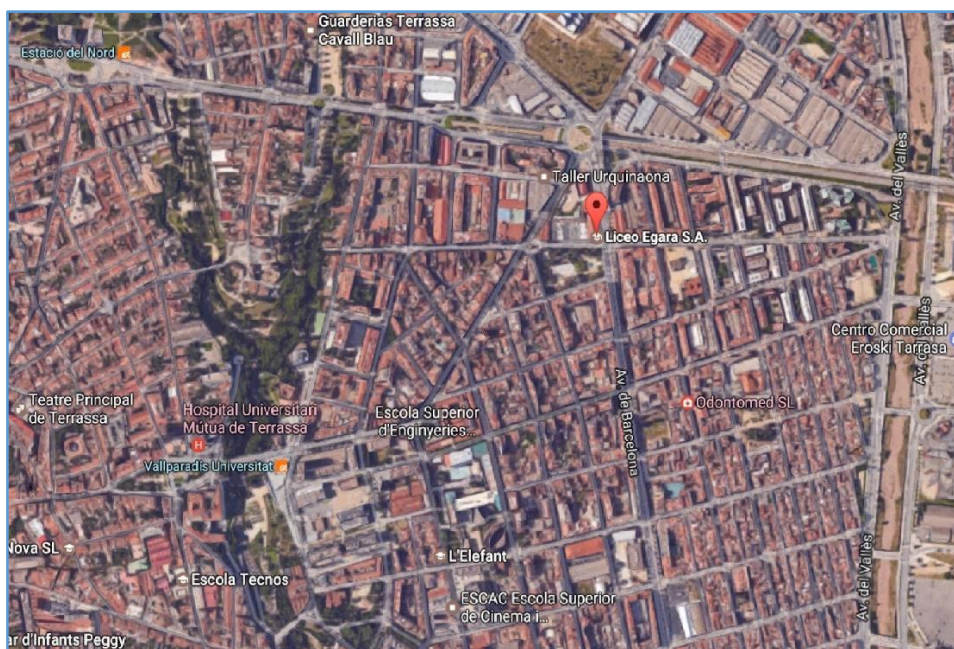
Realitzat un primer contacte amb el centre, és imprescindible establir la seva ubicació i situació en el mapa, així com clarificar els aspectes relacionats amb la construcció i distribució estructural d'aquest.

L'escola *Liceo Egara* se situa al municipi de Terrassa, el qual pertany a la província de Barcelona.



**Figura 3.** Ubicació general del centre educatiu Liceo Egara [31]

Concretament l'edifici objecte d'estudi pertany al *Districte I* de la ciutat i es troba ubicat a l'est d'aquesta, entre els barris *Plaça Catalunya – Escola Industrial* i *Vallparadís*.



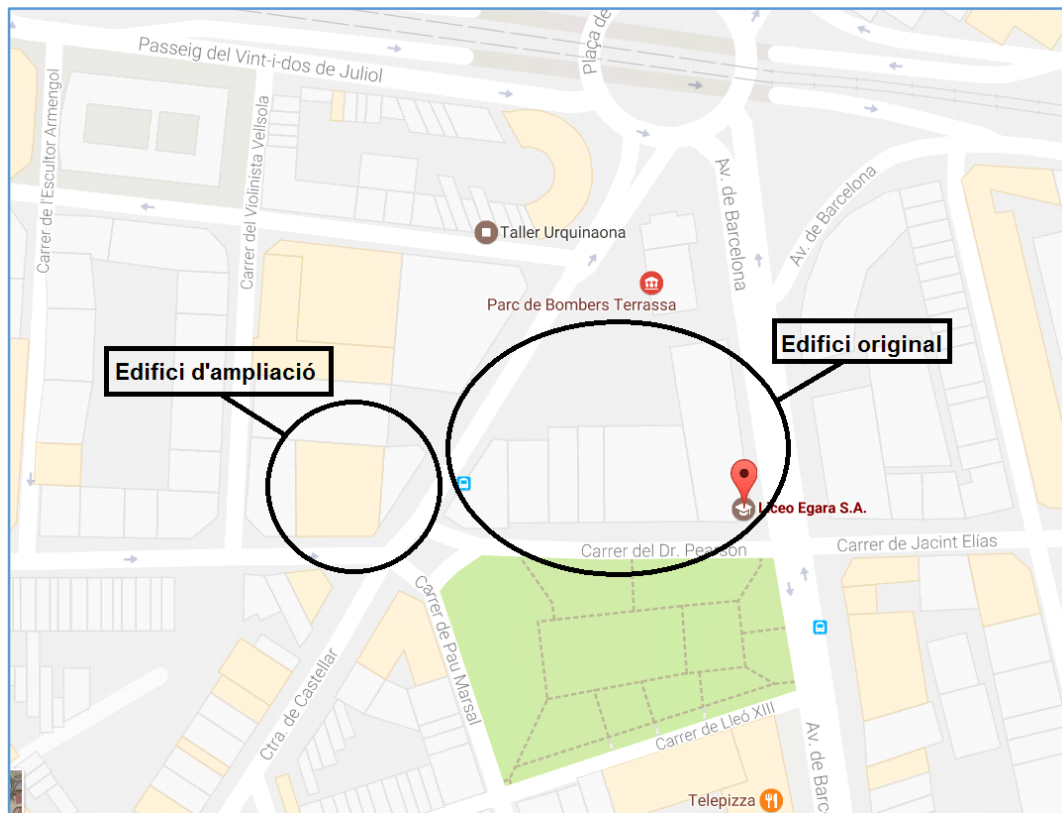
**Figura 4.** Ubicació concreta del centre educatiu Liceo Egara a la ciutat de Terrassa [31]

L'any 2013 s'inicia una ampliació i redistribució dels edificis que formen l'escola. En conseqüència, actualment el *Liceo Egara* es compon de dos edificis situats a la Carretera de Castellar, Terrassa.

El present projecte denomina "*edifici original*" a l'emplaçament utilitzat pel centre des de la seva fundació. L'esmentat edifici ha experimentat algunes reformes i canvis en la distribució dels espais en els últims anys però a nivell estructural no presenta canvis rellevants.

Per una altra part, la voluntat del centre d'augmentar l'oferta educativa incrementant el nombre de línies per curs i afegint els estudis post-obligatoris de *Batxillerat* ha fet necessari l'adquisició d'un nou edifici, "*edifici d'ampliació*".

Amb la seqüència d'imatges presentades a continuació es clarifica la informació exposada anteriorment sobre els edificis que formen el centre.



**Figura 5.** Establiment dels edificis que formen part del centre educatiu Liceo Egara (esquema) [31]





L'estudi i projecte desenvolupats es centren únicament en l'*edifici original*, per tant l'*edifici d'ampliació* queda fora de l'abast d'aquest treball i no és considerat. El motiu pel qual ha sigut presa aquesta decisió recau en la manca d'informació relativa al consum energètic del nou edifici, donat que el seu ús és molt recent no es disposa de factures elèctriques suficients per realitzar un estudi fiable. Addicionalment, l'escola es troba en una situació de transició i encara no ha unificat la gestió i administració d'ambdós edificis.

L'*edifici original* esta format a la seva vegada per set edificis. Amb la finalitat d'obtenir més informació sobre l'estructura i distribució interior del centre educatiu es pot accedir al "*Document 3 – Plànols*" d'aquest projecte.

## 4. Context Energètic

El present apartat del projecte acull l'estudi realitzat sobre el consum elèctric de l'escola *Liceo Egara*. La finalitat d'aquest estudi es focalitza en l'obtenció de les dades necessàries per establir la demanda elèctrica produïda per la institució.

La determinació del valor d'aquesta demanda elèctrica es realitza mitjançant l'anàlisi de les factures proporcionades per la mateixa escola, les quals engloben un període de 26 mesos, començant el mes de Novembre de 2014 i finalitzant el mes de Desembre de 2016. Durant aquest període s'analitza l'evolució del consum elèctric durant els últims dos anys amb l'objectiu d'obtenir valors mitjans mensuals i anuals d'energia i de facturació.

La projecció futura d'aquest estudi és obtenir la informació necessària sobre el consum i la demanda elèctrica de l'escola per acabar determinant l'energia que ha de proporcionar el sistema minieòlic.

### 4.1. Conceptes Bàsics sobre Factures Elèctriques

Prèviament a l'anàlisi i estudi de les factures, es considera necessari realitzar un apartat on es defineixin i clarifiquin els conceptes bàsics presents en una factura elèctrica, la qual cosa facilitarà la posterior comprensió del context energètic.

Primerament cal establir que el tipus de tarifa d'accés contractada per la institució objecte de l'estudi és la 3.0A.

*La tarifa elèctrica 3.0A és una tarifa d'accés a la xarxa aplicada a subministres de baixa tensió, la potència contractada dels quals és superior als 15 kWh. Aquest tipus de tarifa consta de sis períodes tarifaris i per aquest motiu sempre es produeix una discriminació horària. La taula següent mostra la informació referent a cada període (en el cas particular de la Península Ibèrica).*

Període	Hores	Etapas	
		Hivern	Estiu
<b>P1 (Punta)</b>	4	De 18:00 a 22:00 hores.	De 11:00 a 15:00 hores.
<b>P2 (Pla)</b>	12	De 8:00 a 18:00 hores i de 22:00 a 00:00 hores.	De 8:00 a 11:00 hores i de 15:00 a 00:00 hores.
<b>P3 (Vall)</b>	8	De 00:00 a 8:00 hores.	De 00:00 a 8:00 hores.

*Taula 2. Distribució horari dels períodes tarifaris relatius a la tarifa 3.0A*

*Els períodes P4 (Punta), P5 (Pla) i P6 (Vall) corresponen als períodes tarifaris dels dies festius.*

*Adicionalment, la tarifa 3.0A presenta dues característiques fonamentals que afecten directament a la facturació de la potència.*



*Per una part, l'ús d'un equip de mesura anomenat màxímetre, el qual substitueix l'ICP (interruptor de control de potència). El màxímetre registra la màxima potència mitjana demandada durant 15 minuts en el mes de facturació i per cada període tarifari, per tant, cada mes existeixen tres lectures de màxímetre, una per cada període i són les utilitzades per facturar el terme de potència. [13]*

*Per una altra part, aquesta tarifa penalitza la descompensació d'energia reactiva. Aquesta es tracta d'una energia no aprofitable que genera problemes en les xarxes elèctriques a causa de que produeix un augment en la temperatura del cablejat, un mal funcionament dels equips, etc. Per aquest motiu, les distribuïdores penalitzen als usuaris que no compensen l'energia reactiva i queda regulat pel Real Decret 1164/2001, del 26 d'Octubre de 2001 i la ordre ITC 1723/2009, de 26 de Juny de 2009. [14]*

Establertes aquestes primeres premisses, es procedeix a determinar quins conceptes són presents en les factures elèctriques propietat de la institució Liceo Egara.

L'estructura principal de la factura és mostra en la taula següent.

<b>Potència Contractada (62 kW)</b>	
<b>Concepte</b>	<b>Import (€)</b>
Facturació consum període P1	173,38
Facturació consum període P2	323,15
Facturació consum període P3	27,71
Descompte % dt. Territorial 24,0000	- 125,82
Potència	417,81
Energia reactiva	0,88
Impost electricitat	41,78
Lloguer d'equips	29,53
<b>TOTAL</b>	888,42
<b>IVA normal 21% de TOTAL</b>	186,57
<b>TOTAL FACTURA</b>	<b>1.074,99 €</b>

*Taula 3. Exemple de factura relativa al període comprés entre el 31/05/2015 i el 30/06/2015.  
Annex III del Document 4 – Annexos*

Com es pot observar l'estructura de la factura consta dels conceptes següents.

- ✓ Les **facturacions referents als tres períodes**, les quals han estat definides anteriorment.
- ✓ El **descompte territorial** del 24%, proposat per l'empresa elèctrica subministradora ENDESA.
- ✓ El concepte de **potència** queda relacionat amb la lectura del màxímetre de la manera següent.

Potència Utilitzada (Registrada pel Maxímetre)	Potència Facturada	Formulació
Si és inferior al 85% de la Potència Contractada	Es cobrarà el 85% de la Potència Contractada	$PF = 0,85 \cdot PC$
Si es troba entre el 85% i el 105% de la Potència Contractada	Es cobrarà la potència utilitzada pel maxímetre	$PF = PM$
Si supera el 105% de la Potència Contractada	Es cobrarà la potència utilitzada a més d'una penalització	$PF = PM + 2(PM - 1,05PC)$

**Taula 4.** Relació entre la lectura del maxímetre i la potència facturada (PF: Potència Facturada, PM: Potència registrada pel Maxímetre i PC: Potència Contractada)

- ✓ La penalització sobre la descompensació d'**energia reactiva**, concepte clarificat prèviament.
- ✓ **L'impost sobre l'electricitat**, el qual és executat per la comercialitzadora d'energia i remès pel govern. És un tipus d'impost especial (així com els impostos sobre l'alcohol o el tabac) que s'aplica al consum i a la potència. El seu càlcul queda establert per la legislació.
- ✓ En cas de no ser propietari del comptador, també es tindrà en compte el pressupost pel **lloguer d'equips**. Aquest cost mensual és expedit per la distribuïdora però fixat pel Govern i el seu preu varia en funció del tipus de comptador.
- ✓ Finalment s'aplica l'**IVA** (Impost sobre el Valor Afegit) sobre tots els conceptes que conformen la factura elèctrica, el qual és del 21%. [15]

#### 4.2. Tractament de les Factures Elèctriques

Les factures analitzades han sigut proporcionades per la mateixa escola *Liceo Egara*, objecte del projecte. En el "*Document 4 – Annexos, Annex II*" es facilita un resum de les esmentades factures així com els càlculs referents a l'estudi de consum energètic del centre educatiu.

La tarifa contractada per la institució és la 3.0A, tal com s'estableix anteriorment, i és proporcionada per l'empresa elèctrica espanyola ENDESA, la qual opera en els sectors elèctrics i gasístics.

Com s'ha especificat prèviament, les dades presents en aquesta documentació abasten un període de 2 anys i 2 mesos, iniciant aquest període el mes de Novembre de 2014 i finalitzant el mes de Desembre de 2016.

Els consums elèctrics presents en les factures analitzades corresponen als set edificis originals, els quals foment el conjunt del centre educatiu. En la realització del present projecte no es contempla l'existència del nou edifici d'ampliació, en tant que no proporciona dades suficients per dur a terme un anàlisi fiable a causa de la seva recència. Addicionalment, l'administració de l'edifici d'ampliació és independent a la dels edificis més antics i hauria de ser tractat de manera individual.

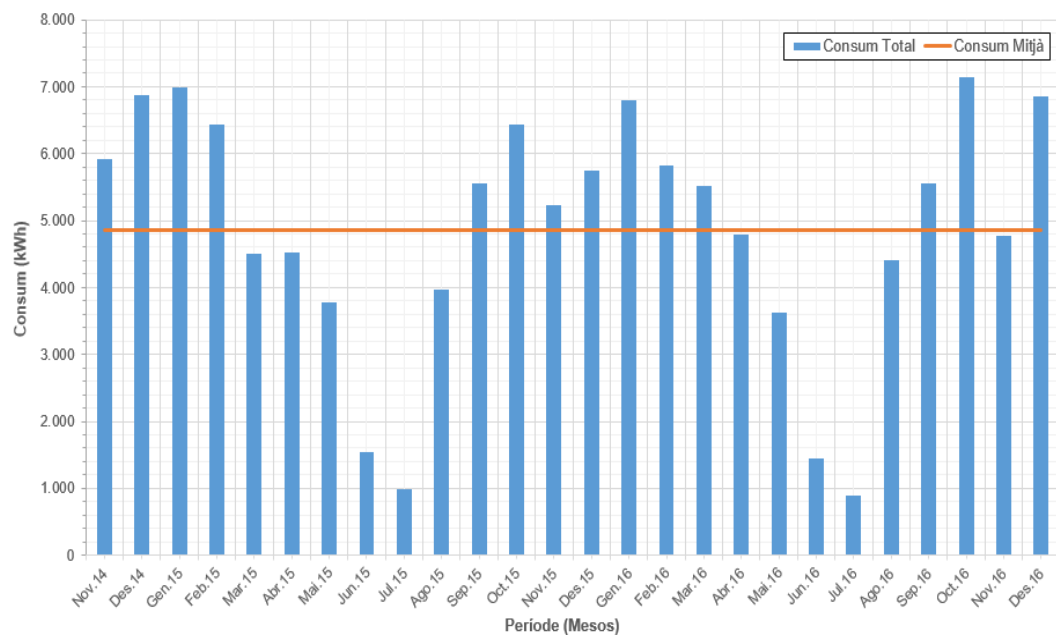
#### 4.2.1. Consums

L'apartat presentat a continuació incideix principalment en el consum energètic total de l'escola *Liceo Egara*.

És imprescindible conèixer la demanda elèctrica del centre educatiu i realitzar l'anàlisi pertinent sobre les dades obtingudes. La informació extreta en el present apartat permetrà establir els requisits a complir per la instal·lació minieòlica.

Fent ús de les dades extretes de les factures, proporcionades per la institució, es realitza un gràfic on s'estableixen de manera visual els consums mensuals durant els 26 mesos que abasta l'estudi. Addicionalment, es determina el consum mitjà corresponent a aquest període de temps.

És important clarificar que el consum és expressat en unitats d'energia (kWh) i no s'ha de confondre aquest concepte amb el de potència (kW).



**Figura 8.** Consums mensuals del centre Liceo Egara (2015-2016) amb la mitjana corresponent.  
Annex III del Document 4 – Annexos

Mitjançant el gràfic anterior s'observa que durant els mesos corresponents a l'etapa lectiva de l'escola (de Setembre a Juny) el consum energètic és major, especialment en l'etapa d'hivern. Aquest alt consum durant els mesos freds s'atribueix a l'ús addicional de calefacció i a la menor presència d'hores de llum solar, fet que augmenta la utilització d'il·luminació artificial.

En contraposició, el període corresponent a les vacances d'estiu experimenta la menor demanda energètica. No obstant, durant aquesta etapa segueix existint un consum mínim associat als següents factors.

- ✓ La presència de sistemes automàtics a l'escola, els quals es troben actius durant tot l'any.
- ✓ Malgrat el fet que el període escolar (Setembre – Juny) finalitzi per l'alumnat, durant el mes de Juliol i part del mes d'Agost, el professorat i personal del centre continua amb les seves activitats laborals.
- ✓ Durant el mes de Juliol, en horari de 9:00h a 13:00h, s'estableix un servei d'esplai destinat als alumnes, per tant l'escola roman activa.

El consum elèctric disminueix durant aquests mesos donat que la majoria d'aules esdevenen tancades i inactives.

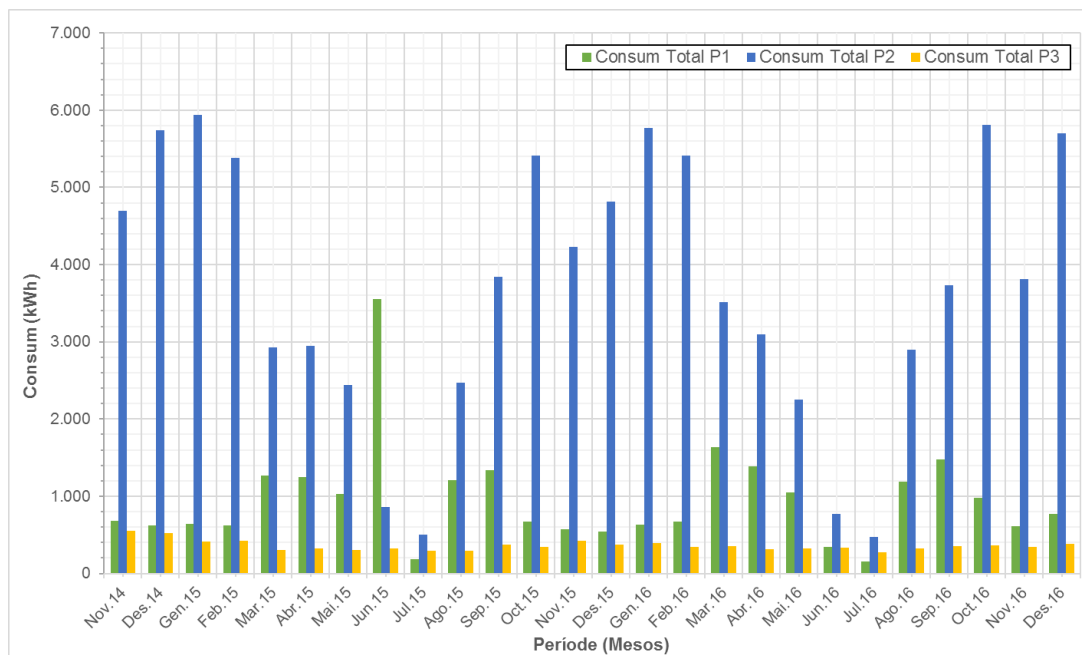
La taula mostrada a continuació resumeix les dades més significatives extretes de l'anàlisi anterior.

<b>Demanda Energètica</b>	<b>Consum Total</b>	<b>Període (Mes)</b>	<b>% Respecte la Mitjana Mensual</b>
<b>Màxima</b>	7.140 kWh	Octubre 2016	47
<b>Mínima</b>	898 kWh	Juliol 2016	81

*Taula 5. Resum de les dades més significatives sobre el consum en el centre Liceo Egara*

S'estableix que la demanda màxima es dona a l'Octubre de 2016, representant un augment d'un 47% respecte la mitjana mensual. Oposadament, la demanda mínima es presentà durant el mes de Juliol del mateix any, assolint una disminució d'un 81% respecte la mitjana mensual. És important tenir present l'existència d'aquesta gran diferència entre el consum mitjà i mínim en els càlculs posteriors, els quals determinen la millor opció d'instal·lació minieòlica.

Amb la finalitat de realitzar un anàlisi més detallat, es grafica la demanda energètica del centre tenint en compte cada període tarifari.



**Figura 9.** Demanda energètica del centre Liceo Egara segons el període tarifari. Annex III del Document 4 – Annexos

S'observa una gran diferència en quant al consum energètic de cada període. Aquest fet s'analitza en detall posteriorment.

A partir de les dades contingudes en les factures i els gràfics anteriors s'estableixen els consums mitjans energètics totals, mensual i anual. En addició, es mostra el consum mitjà de cada període.

Els càlculs esmentats, presentats a continuació, són de gran utilitat en la tria de l'aerogenerador, donat que estan destinats a satisfer els requeriments bàsics establerts pel projecte.

$$\text{Consum Mitjà}_{(Mensual)} = \frac{126.112 \text{ kWh}}{26 \text{ mesos}} = \mathbf{4.850 \text{ kWh/mes}}$$

$$\text{Consum Mitjà}_{(Anual)} = \frac{126.112 \text{ kWh}}{26 \text{ mesos}} \times \frac{12 \text{ mesos}}{1 \text{ any}} = \mathbf{58.206 \text{ kWh/any}}$$

$$\text{Consum Mitjà P1}_{(Mensual)} = \frac{25.083 \text{ kWh}}{26 \text{ mesos}} = \mathbf{965 \text{ kWh/mes}}$$

$$\text{Consum Mitjà P2}_{(Mensual)} = \frac{95.449 \text{ kWh}}{26 \text{ mesos}} = \mathbf{3.671 \text{ kWh/mes}}$$

$$\text{Consum Mitjà P3}_{(Mensual)} = \frac{9.381 \text{ kWh}}{26 \text{ mesos}} = \mathbf{307 \text{ kWh/mes}}$$

**Taula 6.** Càlcul dels consums mitjans experimentats al centre Liceo Egara



Es presenta un alt desequilibri en el consum elèctric de cada període, sent el període pla (P2) el que reuneix una major demanda amb diferència. Aquests resultats són justificables tenint en compte el tipus d'edifici tractat. Un centre educatiu concentra la seva activitat en les hores lectives del dia, les quals s'estableix entre les 8:00h i les 18:00h durant els mesos d'hivern majoritàriament, coincidint amb les hores definides en el període pla d'aquesta estació de l'any.

Per contra, el període on s'experimenta el menor consum elèctric és el període vall (P3.) En termes comparatius, aquest representa aproximadament un 8% del consum mitjà del P2 (on es dona la màxima demanda).

Malgrat la disparitat de consums entre els diferents períodes, especialment entre el P2 i el P3, les dades analitzades asseguren un consum irregular però existent inclús durant la nit. Conseqüentment, l'energia produïda per l'aerogenerador serà aprofitada tant en les hores diürnes del dia com en les hores nocturnes.

#### 4.3. Necessitats Energètiques

Realitzat l'anàlisi de la demanda actual del centre educatiu *Liceo Egara* és imprescindible determinar la generació energètica a produir pel sistema minieòlic per tal de cobrir les necessitats energètiques establertes a l'inici d'aquest document.

Principalment, es defineix una cobertura del 15% de la demanda energètica total de l'escola. A través del càlcul presentant a continuació s'estableix aquest valor en termes d'energia anual.

$$58.206 \frac{kWh}{any} \times \frac{15}{100} = 8.731 \frac{kWh}{any}$$

El resultat obtingut conclou que el sistema minieòlic ha de generar com a mínim **8.731 kWh** anuals.

L'establiment d'aquesta premissa es realitzà abans de començar el desenvolupament del projecte, quan encara no es coneixien les dades de consum.

A partir de l'anàlisi de les factures i l'establiment de la demanda energètica total de l'escola, s'observa que aquesta és considerablement alta. A priori, una cobertura del 15% pot semblar mínima, no obstant, tenint en compte l'ordre de magnitud, aquest percentatge suposa una gran quantitat d'energia elèctrica.

Conseqüentment es decideix considerar acceptable un rang de cobertura energètica entre el 10% i el 15% de la demanda elèctrica total del centre educatiu.

La finalitat d'aquesta nova premissa és ampliar el ventall d'opcions relatives al sistema minieòlic a instal·lar.

$$58.206 \frac{kWh}{any} \times \frac{10}{100} = 5.821 \frac{kWh}{any}$$

Traduint aquests percentatges a valors d'energia anuals, s'estableix que la instal·lació minieòlica ha de proporcionar com a mínim entre **5.821 kWh i 8.731 kWh** útils anuals per tal d'assolir els requeriments definits.

## 5. Recurs Eòlic

El bloc presentat a continuació incideix sobre el concepte de recurs eòlic amb l'objectiu final d'establir els paràmetres necessaris per realitzar l'anàlisi i estudi dels diferents aerogeneradors de baixa potència cercats.

*El terme **recurs eòlic** fa referència a l'energia del vent present en un lloc determinat que pot ser aprofitada per a generar electricitat.*

*És possible quantificar i mesurar el recurs eòlic mitjançant l'estudi de la velocitat i direcció del vent, la temperatura i altres variables (a diferents alçades durant com a mínim un any), la rosa dels vents, les mitjanes mensuals i altres dades que són necessàries per conèixer la potència que podrà ser extreta mitjançant un o diversos aerogeneradors. [3]*

Amb la finalitat de facilitar l'accés a la informació relativa als aspectes més teòrics d'aquest bloc s'ha realitzat "l'Annex III" en el "Document 4 – Annexos".

### 5.1. El Vent

*El vent és el desplaçament d'un corrent d'aire degut a les variacions de pressió presents en l'atmosfera. Es defineix mitjançant dos paràmetres: mòdul i direcció. Aquesta darrera es descompon en velocitat horitzontal o paral·lela a la superfície i velocitat vertical o perpendicular a la superfície (corrent de convecció).*

*Els moviments verticals de les masses d'aire es produeixen a causa de la diferència entre el gradient vertical de pressió i la força gravitatòria. El descens de la pressió de l'aire a l'augmentar l'alçada queda compensat per la direcció de la força gravitatòria, això és el que es coneix com equilibri hidrostàtic. Per la qual cosa, el moviment de les masses d'aire tendeix a mantenir aquest equilibri, tal com indica la fórmula següent.*

$$\frac{\partial P}{\partial H} = -\rho g$$

*Aquest equilibri, conjuntament amb l'estabilitat general de l'atmosfera i el seu escàs espessor, limita en gran mesura els moviments verticals de l'aire. És per aquest motiu que, en general, les velocitats del vent produïdes en el moviment vertical són d'inferior ordre de magnitud que les produïdes en el moviment horitzontal.*

*Conseqüentment, el recurs eòlic aprofitat per generar energia elèctrica es troba, principalment, en el seu desplaçament horitzontal, concretament en la superfície terrestre. [1]*

## 5.2. Tractament de les Dades del Vent

La necessitat d'optimitzar el rendiment dels aerogeneradors i reduir el cost associat a la generació d'energia condueix directament a determinar el tipus de distribució que segueix el vent.

Mesurant les velocitats del vent durant el període d'un any en una zona determinada s'observa que el vent experimenta altes velocitats en comptades ocasions mentre que els vents moderats són bastant més comuns.

Les característiques tan disperses i aleatòries que presenta l'energia eòlica condueixen necessàriament a l'ús de l'estadística com a eina de càlcul, la qual finalment permet determinar si un emplaçament és adequat o no per situar un aerogenerador. D'aquesta manera es recorre a la representació de la velocitat del vent com una variable aleatòria. Això permet analitzar si les probabilitats d'ocurrència es poden ajustar a algun tipus de distribució continua, permetent trobar una expressió matemàtica per calcular l'energia eòlica en funció del temps.

Generalment, les distribucions més utilitzades en el camp de l'energia eòlica són la funció de Weibull i un cas particular d'aquesta, anomenada funció de Rayleigh. La funció de Weibull, per la seva part, és més versàtil, mentre que la funció de Rayleigh és més simple.

Per obtenir resultats més exactes d'aquests mètodes estadístics es precisen dades de velocitats enregistrades durant 25 anys o més, però per tenir una aproximació és suficient amb contrastar les dades preses al llarg d'una any.

### 5.2.1. Distribució de Weibull

*Determinar el potencial eòlic està directament relacionat amb l'establiment dels paràmetres de l'equació de distribució de Weibull. Aquests són el paràmetre d'escala  $c$  (m/s), el qual fa referència a la velocitat mitjana del vent en el lloc d'estudi i el paràmetre de forma  $k$  (adimensional) que indica el grau de dispersió dels registres, mostres o mesures obtingudes.*

*Amb la conjunció d'ambdós paràmetres s'estableix la freqüència amb la qual es manifesta una determinada velocitat del vent, i aquesta expressió és coneguda com a distribució de la velocitat del vent de Weibull (funció de densitat de probabilitat).*

$$P(v; c, k) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

*Des del punt de vista pràctic, la distribució de Weibull proporciona un mètode empíric precís per a la representació de la distribució de probabilitats de velocitats del vent. D'aquesta manera, permet calcular la probabilitat de que existeixin velocitats de vent superiors o menors a una velocitat determinada. [3]*

### 5.2.2. Aplicació del Mètode

Per poder dur a terme l'avaluació del potencial eòlic en qualsevol zona d'estudi, és imprescindible realitzar un registre de les velocitats dels vents presents en el lloc d'interès. Aquests registres es poden obtenir mitjançant la instal·lació d'una estació meteorològica en el punt d'estudi. No obstant, existeixen institucions que proporcionen aquestes dades sense necessitat d'una inversió econòmica destinada a la instal·lació i manteniment de les esmentades estacions.

En el cas particular de l'escola *Liceo Egara*, s'ha optat per l'ús de l'eina informàtica proporcionada per l'IDAE (*Institut per a la Diversificació i Estalvi de la Energia*), anomenada *Atles Eòlic d'Espanya*.

L'atles eòlic consisteix en una aplicació online, a la qual s'accedeix a través de la pàgina web de l'IDAE (<http://atlaseolico.idae.es>) [16]. L'eina proporciona un mapa del recurs eòlic en Espanya amb la fiabilitat suficient per permetre una primera avaluació del potencial eòlic disponible en un determinat emplaçament.

### 5.2.3. Estudi del Vent en el Centre Educatiu *Liceo Egara*

Fent ús de l'aplicatiu informàtic "*Atles Eòlic d'Espanya*" definit en l'apartat anterior, es cerca el node d'estudi més proper al centre d'ensenyament *Liceo Egara*. La informació obtinguda en aquest punt d'estudi es resumeix en la taula següent.

Concepte	Valor
<b>Coordenades UTM (m)</b>	919149, 4614166
<b>Elevació (m)</b>	309
<b>Rugositat (m)</b>	0,75
<b>Weibull C (m/s)</b>	5,09
<b>Weibull K (m/s)</b>	2,044

*Taula 7. Informació relativa al node d'estudi del vent localitzat en l'escola Liceo Egara [16]*

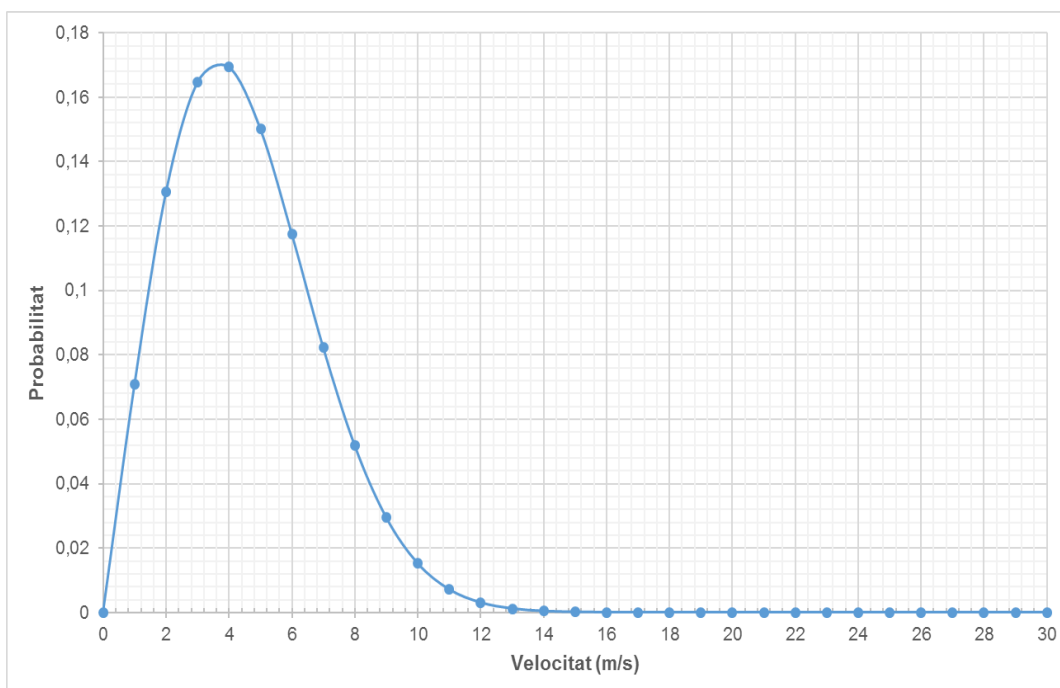
Les coordenades UTM indiquen la posició exacte on es troba situat el node, a partir del qual s'han extret les dades. L'elevació fa referència a l'alçada on se situa el node i per tant determina a on pertany la informació obtinguda.

La següent imatge és extreta de l'aplicatiu i mostra el punt escollit per ser avaluat.



*Figura 10. Situació de l'escola Liceo Egara en l'eina digital i valors obtinguts pel node d'estudi [16]*

Mitjançant els valors  $C$  i  $K$  anteriors es determina la distribució probabilística de les velocitats del vent, corresponent a la corba de Weibull.



*Figura 11. Corba de Weibull corresponent al punt d'estudi situat a l'escola Liceo Egara. Annex IV del Document 4 - Annexos*

Es proposa un rang de velocitats que es comprèn entre els 0 m/s i els 30 m/s. L'establiment d'aquest interval d'estudi es basa en el fet que els fabricants d'aerogeneradors de baixa potència estableixen els frens de seguretat a velocitats iguals o inferiors a 30 m/s, per tant analitzar velocitats superiors a aquestes no aportaria informació rellevant a l'esmentat estudi. Addicionalment, s'observa que la probabilitat de velocitats donades al voltant dels 30 m/s és mínima.

$$P[v < 30 \text{ m/s}] = 1 - 0,9944 = 0,0056$$

Que el vent bufi a 30 m/s o més resulta en una probabilitat d'aproximadament el 0,56%, valor que es considera menyspreable.

A partir de l'anàlisi del gràfic, s'estableix que la velocitat del vent més probable en la zona d'estudi és de 3,7 m/s.

La informació resultant d'aquest apartat és utilitzada posteriorment per calcular les corbes de potència dels diferents models de mini-aerogeneradors analitzats en el bloc següent del treball. Les corbes de potència obtingudes permeten la comparació entre models de turbines, en tant que es pot conèixer l'energia anual generada per cadascuna d'aquestes.

Per a consular en detall els càlculs realitzats sobre el recurs eòlic es pot accedir al *"Document 4 – Annexos, Annex III, apartat 2"*.

## 6. Aerogenerador Eòlic de Baixa Potència

### 6.1. Anàlisi i Recerca de Mercat

A través de l'estudi de mercat s'acumula informació sobre vint-i-sis turbines eòliques de potències compreses entre 1kW i 6kW. La recerca d'aparells es focalitza principalment en el tipus de mini-aerogenerador d'eix horitzontal, donat que és el més utilitzat i rentable. No obstant, s'inclouen dos turbines eòliques d'eix vertical per completar de manera més exhaustiva l'estudi.

Mitjançant un primer anàlisi s'estableixen vuit opcions les quals, a priori, mostren com a resultat els millors escenaris possibles. Aquestes opcions esdevenen a partir de la selecció de cinc aerogeneradors, escollits entre les vint-i-sis turbines eòliques proposades anteriorment. La taula següent resumeix de manera simplificada i entenedora la informació exposada en aquest paràgraf.

Aerogenerador	Opcions	Unitats	
<b>ECO – 2kW</b>	Opció 1	2 unitats	-
<b>Aeolos – H 3kW</b>	Opció 2	2 unitats	-
<b>Aeolos – H 5kW</b>	Opcions 3 i 4	1 unitat	2 unitats
<b>Bornay 6kW</b>	Opcions 5 i 6	1 unitat	2 unitats
<b>HYE – 3000</b>	Opcions 7 i 8	2 unitats	3 unitats

*Taula 8. Opcions de sistema minieòlic proposades. Annex V del Document 4 – Annexos*

Tanmateix, els cinc aerogeneradors escollits per ser sotmesos a un segon estudi són presentats a continuació.

- ✓ ECO – 2kW
- ✓ Aeolos – H 3kW
- ✓ Aeolos – H 5kW
- ✓ Bornay 6kW
- ✓ HYE – 3000

A través d'una comparació més detallada, focalitzada i exhaustiva d'aquestes opcions es pretén determinar quin és l'aerogenerador més apropiat per dur a terme el projecte i en quina configuració és necessari presentar-lo.

Les següents pàgines mostren les especificacions bàsiques de cadascun dels cinc aerogeneradors seleccionats. La informació ha estat recollida i resumida en forma de taules per simplificar i facilitar la lectura de dades.



ECO – 2kW	
Tipus d'Eix	Horitzontal
Diàmetre del Rotor	3,20 m
Nombre de Pales	3
Material de les Pales	FRB * 3PCS
Potència Nominal / Màxima Potència	2.000W / 2.800W
Velocitat Nominal del Vent	8 m/s
Velocitat d'Arrancada del Vent	2,50 m/s
Velocitat de Treball del Vent	3 m/s – 25 m/s
Velocitat de Supervivència del Vent	50 m/s
Velocitat Nominal de Rotació	400 rpm
Voltatge de Treball	DC 24V/48V/120V/240V/300V
Tipus de Generador	Trifàsic d'Imants permanents
Mètode de Regulació de Velocitat	Fre de guinyada + Fre automàtic
Pes de l'Aerogenerador	88 kg
Alçada	7 m
Nivell Sonor	<30dB
Vida Útil	15 anys
Inversió Inicial	<b>3.324 €</b>

*Taula 9. Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador ECO – 2kW [35]*



*Figura 12. Exemple real de dues turbines del model ECO – 2kW [35]*

Aeolos – H 3kW	
Tipus d'Eix	Horitzontal
Diàmetre del Rotor	5,00 m
Nombre de Pales	3
Material de les Pales	Fibra de Vidre
Potència Nominal / Màxima Potència	3.000W
Velocitat Nominal del Vent	-
Velocitat d'Arrancada del Vent	2,50 m/s
Velocitat de Treball del Vent	3 m/s – 25 m/s
Velocitat de Supervivència del Vent	45 m/s
Velocitat Nominal de Rotació	400 rpm
Voltatge de Treball	DC 110V – 240V
Tipus de Generador	Trifàsic d'Imants permanents
Mètode de Regulació de Velocitat	Fre de guinyada + Fre automàtic + Fre Hidràulic
Pes de l'Aerogenerador	138 kg
Alçada	12 m
Nivell Sonor	<30dB
Vida Útil	30 anys
Inversió Inicial	<b>5.152,72 €</b>

*Taula 10. Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador Aeolos – H 3kW [34]*



*Figura 14. Exemple en 3D del model d'aerogenerador Aeolos – H 3kW [34]*



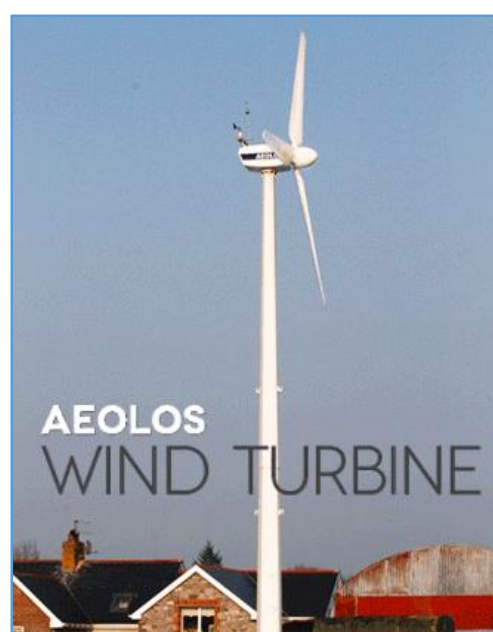
*Figura 13. Exemple real del model de turbina Aeolos – H 3kW [34]*

Aeolos – H 5kW	
Tipus d'Eix	Horitzontal
Diàmetre del Rotor	6,40 m
Nombre de Pales	3
Material de les Pales	Fibra de Vidre
Potència Nominal / Màxima Potència	5.000W
Velocitat Nominal del Vent	8 m/s
Velocitat d'Arrancada del Vent	2,50 m/s
Velocitat de Treball del Vent	3 m/s – 25 m/s
Velocitat de Supervivència del Vent	45 m/s
Velocitat Nominal de Rotació	200 rpm
Voltatge de Treball	DC 120V – 260V
Tipus de Generador	Trifàsic d'Imants permanents
Mètode de Regulació de Velocitat	Fre de guinyada + Fre automàtic
Pes de l'Aerogenerador	180 kg
Alçada	18 m
Nivell Sonor	<30dB
Vida Útil	20 anys
Inversió Inicial	<b>7.863,63 €</b>

*Taula 11. Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador Aeolos – H 5kW [34]*



*Figura 16. Exemple real del model de turbina Aeolos – H 5kW (I) [34]*



*Figura 15. Exemple real del model de turbina Aeolos – H 5kW (II) [34]*

Bornay 6kW	
Tipus d'Eix	Horitzontal
Diàmetre del Rotor	4,00 m
Nombre de Pales	3
Material de les Pales	Fibra de Vidre / Carboni
Potència Nominal / Màxima Potència	6.000W
Velocitat Nominal del Vent	12 m/s
Velocitat d'Arrancada del Vent	3,50 m/s
Velocitat per Frenada Automàtica	14 m/s
Velocitat de Supervivència del Vent	60 m/s
Velocitat Nominal de Rotació	600rpm
Voltatge de Treball	DC 48V – 120V
Tipus de Generador	Trifàsic d'Imants permanents
Mètode de Regulació de Velocitat	Fre manual + Fre automàtic + Fre auxiliar
Pes de l'Aerogenerador	107 kg
Alçada	13 m
Nivell Sonor	<30dB
Vida Útil	20 anys
Inversió Inicial	<b>8.160 €</b>

*Taula 12. Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador Bornay 6kW [32]*



*Figura 18. Exemple real del model de turbina Bornay 6kW (I) [32]*



*Figura 17. Exemple real del model de turbina Bornay 6kW (II) [32]*

HYE – 3000	
Tipus d'Eix	Horitzontal
Diàmetre del Rotor	3,50 m
Nombre de Pales	5
Material de les Pales	Nylon Reforçat i Fibra de Vidre
Potència Nominal / Màxima Potència	3.000W / 3.500W
Velocitat Nominal del Vent	12 m/s
Velocitat d'Arrancada del Vent	2 m/s
Velocitat de Treball del Vent	-
Velocitat de Supervivència del Vent	60 m/s
Velocitat Nominal de Rotació	700 rpm
Voltatge de Treball	DC 110V – 220V
Tipus de Generador	Trifàsic d'Imants permanents
Mètode de Regulació de Velocitat	Fre electromagnètic + Fre de fulla aerodinàmic
Pes de l'Aerogenerador	70 kg
Alçada	13 m
Nivell Sonor	<30dB
Vida Útil	15 anys
Inversió Inicial	<b>4.873,30 €</b>

*Taula 13. Especificacions relatives al model de mini-aerogenerador HYE – 3000*



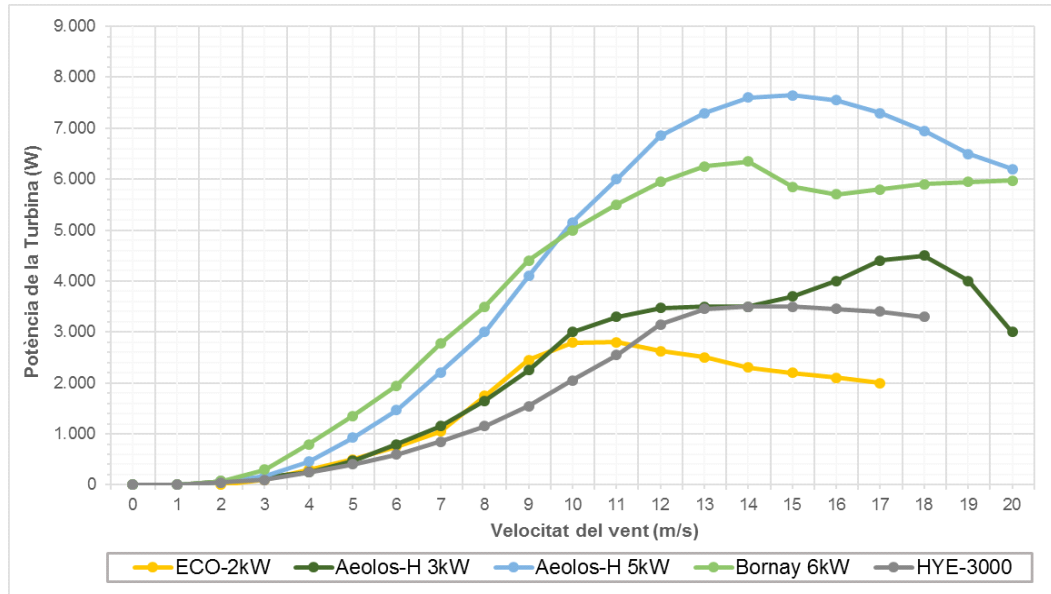
**Figura 20.** Exemple real del model de turbina HYE – 3000 (I)



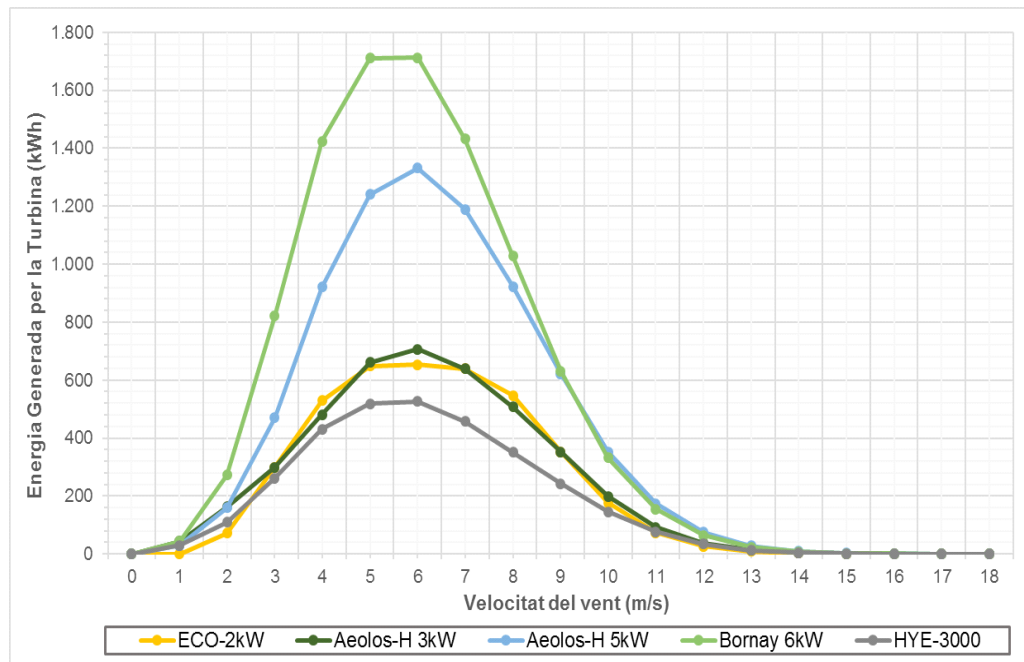
**Figura 19.** Exemple real del model de turbina HYE – 3000 (II)

És necessari clarificar que les taules anteriors proporcionen les característiques d'una única unitat d'aerogenerador. Tanmateix, alguns dels aparells exposats presenten més d'una possibilitat, en tant que es contempla la col·locació d'una, dos o tres unitats, tal com s'ha especificat anteriorment.

Amb la finalitat de completar la informació referent a les cinc turbines escollides en la primera fase de selecció, objectes de l'estudi, els següents gràfics exposen les seves corbes de potència i energia generada respectivament.



**Figura 21.** Corbes de potència relatives als models de mini-aerogeneradors analitzats. Annex IV



**Figura 22.** Energia generada per cada model de mini-aerogenerador analitzat en funció de la velocitat del vent registrada. Annex V

## 6.2. Estudi dels Aerogeneradors Eòlics de Baixa Potència

En el present apartat es realitza un segon anàlisi focalitzat en les turbines eòliques escollides anteriorment i les diferents configuracions que aquestes poden presentar en la instal·lació.

### 6.2.1. Establiment de les Possibles Solucions

El primer pas a realitzar en l'estudi per establir la solució que més s'adequa a la situació plantejada inicialment és enumerar i definir les possibles opcions d'actuació davant del problema plantejat. En el cas que abasta aquest projecte, les alternatives proposades són les següents.

- ✓ **Opció 1:** ECO – 2kW (2 unitats)
- ✓ **Opció 2:** Aeolos – H 3kW (2 unitats)
- ✓ **Opció 3:** Aeolos – H 5kW (1 unitat)
- ✓ **Opció 4:** Aeolos – H 5kW (2 unitats)
- ✓ **Opció 5:** Bornay 6kW (1 unitat)
- ✓ **Opció 6:** Bornay 6kW (2 unitats)
- ✓ **Opció 7:** HYE – 3000 (2 unitats)
- ✓ **Opció 8:** HYE – 3000 (3 unitats)

Les opcions presentades no només es centren en l'elecció d'un aerogenerador sinó que, en alguns casos, també contempla la possibilitat d'instal·lar més d'una unitat.

Es decideix suprimir aquelles opcions que impliquin la combinació de diferents aerogeneradors donat que dificultaria les tasques de manteniment dels artefactes i l'adquisició i instal·lació dels mateixos, entre altres aspectes. Addicionalment, aquest fet suposa una simplificació del procés de selecció.

### 6.2.2. Cobriment de la Demanda Energètica

És imprescindible que la solució final escollida compleixi les expectatives energètiques establertes en les primeres fases de desenvolupament del projecte.

Recuperant la informació presentada en l'apartat "4.3. *Necessitats Energètiques*", s'estableix que l'alternativa final ha de complir amb un cobriment d'entre el 10 i el 15 per cent de la demanda energètica anual de l'escola *Liceo Egara*, és a dir que l'aerogenerador o aerogeneradors escollits han de generar com a mínim 5.820,55 kWh anuals.



Les opcions plantejades generen una energia determinada, la qual ha sigut calculada a partir de les corbes de potència de cada aerogenerador, extretes de les especificacions del fabricant. En aquesta primera mesura energètica s'assumeix que l'aerogenerador funciona en perfectes condicions i no existeix cap pèrdua elèctrica, per tant es defineix com una mesura teòrica. No obstant, en la realitat pràctica aquesta energia generada es veu reduïda donat que la instal·lació és col·locada en un entorn urbà que pot presentar situacions on es produeixin certes pèrdues energètiques.

Tenint en compte l'estudi i la decisió presa en l'apartat "*8.4. Decisió Final sobre el Sistema Elèctric*", la instal·lació minieòlica objecte del projecte es tracta d'una instal·lació connectada directament a la xarxa elèctrica (*on-grid*). Si bé un dels notables avantatges, en quant a generació energètica, d'aquest tipus d'instal·lacions és l'evitament de pèrdues per transport elèctric, existeixen unes pèrdues produïdes per l'excés de generació energètica, el qual és retornat a la xarxa elèctrica.

La causa d'aquestes pèrdues recau, principalment, en la irregularitat de la demanda energètica del centre *Liceo Egara* al llarg del dia i de l'any. Malgrat el fet que el consum elèctric de l'escola mai no és nul, aquest descendeix notablement durant les hores nocturnes i els dies festius (caps de setmana i vacances). Addicionalment, existeixen unes pèrdues presents en tots els tipus de sistemes eòlics relacionades amb la variabilitat del vent, l'absència o excés d'aquest inhabilita el funcionament de la turbina, la qual suprimeix la seva producció energètica. Per una altra part, es considera que la turbina pot experimentar fallades o problemes en el seu funcionament que provoquin la seva inutilització.

La manera més exacta de calcular aquestes pèrdues energètiques incideix en l'estudi i anàlisi de l'anomenada *corba monòtona de producció eòlica*, la qual representa la demanda energètica durant un període determinat (normalment un any) dividida en períodes més petits i ordenada de major a menor consum.

El centre educatiu *Liceo Egara*, objecte del projecte, no disposa de les dades necessàries per establir la funció monòtona de la seva demanda energètica i no existeix cap mètode pel qual es pugui extreure aquesta corba. És per aquest motiu que es decideix fer ús de la informació disponible en les factures elèctriques proporcionades per l'escola, desenvolupant un procediment que, de manera aproximada, permet establir un coeficient de pèrdues. "*L'apartat 2 de l'Annex V del Document 4 – Annexos*" mostra els càlculs relatius a l'establiment del coeficient de pèrdues esmentat.



Seguidament es determinen la potència i l'excés d'energia generada anuals per a cada opció proposada. Aquesta informació és important a considerar davant de la presa de decisions sobre l'aerogenerador o aerogeneradors a escollir. No obstant, les dades exposades a continuació no són decisives ja que, és necessari valorar altres aspectes per arribar a la solució final. Les taules mostrades a continuació resumeixen la informació definida prèviament.

✓ **Opció 1: ECO – 2kW (2 unitats)**

<b>ECO – 2kW</b>		
<i>Energia Anual (kWh)</i>		4.029
<i>Quantitat</i>		2
<b>Suma (kWh)</b>		<b>8.058</b>
<b>Pèrdues (kWh)</b>	25 %	<b>2.015</b>
<b>Energia Anual Total (kWh)</b>		<b>6.044</b>
<b>Cobriments de la Demanda (%)</b>		<b>10</b>
<b>Excés d'Energia Generada Anual (kWh)</b>		<b>223</b>

*Taula 14. Producció energètica total del model ECO – 2kW (2 unitats). Annex IV*

✓ **Opció 2: Aeolos – H 3kW (2 unitats)**

<b>Aeolos – H 3kW</b>		
<i>Energia Anual (kWh)</i>		4.199
<i>Quantitat</i>		2
<b>Suma (kWh)</b>		<b>8.398</b>
<b>Pèrdues (kWh)</b>	25 %	<b>2.100</b>
<b>Energia Anual Total (kWh)</b>		<b>6.299</b>
<b>Cobriments de la Demanda (%)</b>		<b>11</b>
<b>Excés d'Energia Generada Anual (kWh)</b>		<b>478</b>

*Taula 15. Producció energètica total del model Aeolos – H 3kW (2 unitats). Annex IV*

✓ **Opció 3: Aeolos – H 5kW (1 unitat).**

<b>Aeolos – H 5kW</b>		
<i>Energia Anual (kWh)</i>		7.527
<i>Quantitat</i>		1
<b>Suma (kWh)</b>		<b>7.527</b>
<b>Pèrdues (kWh)</b>	22 %	<b>1.656</b>
<b>Energia Anual Total (kWh)</b>		<b>5.871</b>
<b>Cobriments de la Demanda (%)</b>		<b>10</b>
<b>Excés d'Energia Generada Anual (kWh)</b>		<b>51</b>

*Taula 16. Producció energètica total del model Aeolos – H 5kW (1 unitat). Annex IV*

✓ **Opció 4: Aeolos – H 5kW (2 unitats)**

Aeolos – H 5kW		
Energia Anual (kWh)		7.527
Quantitat		2
Suma (kWh)		15.054
Pèrdues (kWh)	38 %	5.721
Energia Anual Total (kWh)		9.333
Cobriments de la Demanda (%)		16
Excés d'Energia Generada Anual (kWh)		3.513

Taula 17. Producció energètica total del model Aeolos – H 5kW (2 unitats). Annex IV

✓ **Opció 5: Bornay 6kW (1 unitat)**

Bornay 6kW		
Energia Anual (kWh)		9.661
Quantitat		1
Suma (kWh)		9.661
Pèrdues (kWh)	32 %	3.092
Energia Anual Total (kWh)		6.569
Cobriments de la Demanda (%)		11
Excés d'Energia Generada Anual (kWh)		749

Taula 18. Producció energètica total del model Bornay 6kW (1 unitat). Annex IV

✓ **Opció 6: Bornay 6kW (2 unitats)**

Bornay 6kW		
Energia Anual (kWh)		9.661
Quantitat		2
Suma (kWh)		19.322
Pèrdues (kWh)	41 %	7.922
Energia Anual Total (kWh)		11.400
Cobriments de la Demanda (%)		20
Excés d'Energia Generada Anual (kWh)		5.579

Taula 19. Producció energètica total del model Bornay 6kW (2 unitats). Annex IV

✓ **Opció 7: HYE – 3000 (2 unitats)**

HYE – 3000		
Energia Anual (kWh)		3.199
Quantitat		2
Suma (kWh)		6.398
Pèrdues (kWh)	21 %	1.344
Energia Anual Total (kWh)		5.054
Cobriments de la Demanda (%)		9
Excés d'Energia Generada Anual (kWh)		- 766

Taula 20. Producció energètica total del model HYE – 3000 (2 unitats). Annex IV

✓ **Opció 8:** HYE – 3000 (3 unitats)

HYE – 3000		
Energia Anual (kWh)		3.199
Quantitat		3
Suma (kWh)		9.597
Pèrdues (kWh)	32 %	3.071
Energia Anual Total (kWh)		6.526
Cobriments de la Demanda (%)		11
Excés d'Energia Generada Anual (kWh)		705

Taula 21. Producció energètica total del model HYE – 3000 (3 unitats). Annex IV

Totes les opcions presentades anteriorment compleixen amb la demanda energètica en major o menor grau excepte l'opció 7 corresponent a instal·lar dos aerogeneradors *HYE – 3000*. Malgrat que l'esmentada alternativa no compleix el requisit de demanda, es decideix mantenir-la per avaluar en profunditat fins on arriba.

En totes les solucions proposades existeix un excés d'energia generada anual. El valor d'aquesta variable es troba en consonància amb la generació energètica, d'aquesta manera quanta més energia produeix el sistema més energia es perd i no és aprofitada. És de gran interès tenir en consideració aquest valor però, per arribar a una conclusió més fiable, és imprescindible l'estudi d'altres factors. Concretament, l'opció 6, la qual es basa en la instal·lació de dos aerogeneradors *Bornay 6kW* és la que presenta un major excés d'energia anual, tanmateix és la que genera la major potència. Continuant amb l'estudi d'alternatives s'arriba a la conclusió si aquests resultats es veuen compensats o equilibrats amb altres prestacions.

### 6.2.3. Mètode d'Avaluació d'Alternatives: VTP

El mètode d'avaluació d'alternatives emprat per a la selecció final de l'aerogenerador més adequat (considerant, addicionalment, el nombre d'unitats a col·locar d'aquest) és l'anomenat *Valor Tècnic Ponderat (VTP)*, també conegut amb el nom de *Suma Ponderada*.

La metodologia emprada en l'aplicació d'aquest mètode és redactada en detall en "l'apartat 3 de l'Annex V del "Document 4 – Annexos" del projecte.

La informació mostrada a continuació presenta els resultats finals derivats del procediment esmentat anteriorment.

Es decideix emprar el criteri de pesos, en relació als factors analitzats, definit en la taula següent.

Factors	Pes
Energia Generada (kWh)	9
Preu per kWh (€/kWh)	8
Diàmetre Rotor (m)	7
Alçada (m)	5
Pes Total (kg)	7
kWh/kg	7
Inversió Inicial (€)	6
Vida Útil (anys)	5
Unitats	3

Taula 22. Establiment dels pesos relatius a cada factor analitzat. Annex IV

Per una altra part, es determina una puntuació per a cada opció en funció del factor valorat. El quadre presentat a continuació resumeix aquesta informació.

Factors	Qualificació							
	ECO-2kW	Aeolos-H 3kW	Aeolos-H 5kW	Bornay 6kW	HY-3000			
	Opció 1	Opció 2	Opció 3	Opció 4	Opció 5	Opció 6	Opció 7	Opció 8
Energia Generada (kWh)	2	3	2	4	3	5	1	3
Preu per kWh (€/kWh)	4	4	2	3	1	3	4	5
Diàmetre Rotor (m)	2	4	5	5	3	3	1	1
Alçada (m)	1	3	5	5	4	4	2	2
Pes Total (kg)	3	2	3	1	4	2	5	4
kWh/kg	3	1	2	2	5	5	4	4
Inversió Inicial (€)	5	3	4	1	3	1	4	2
Vida Útil (anys)	2	5	3	3	4	4	2	2
Unitats	4	4	5	4	5	4	4	3

Taula 23. Valoració de cada opció de sistema minieòlic en funció dels factors analitzats. Annex IV

Finalment es mostra la taula resum amb tots els valors i els càlculs emprats en el procés i els resultats finals obtinguts.

Factors	Pesos (p)	Opció 1		Opció 2		Opció 3		Opció 4		Opció 5		Opció 6		Opció 7		Opció 8	
		p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg	p	pxg
Energia Generada (kWh)	9	2	18	3	27	2	18	4	36	3	27	5	45	1	9	3	27
Preu per kWh (€/kWh)	8	4	32	4	32	2	16	3	24	1	8	3	24	4	32	5	40
Diàmetre Rotor (m)	7	2	14	4	28	5	35	5	35	3	21	3	21	1	7	1	7
Alçada (m)	5	1	5	3	15	5	25	5	25	4	20	4	20	2	10	2	10
Pes Total (kg)	7	3	21	2	14	3	21	1	7	4	28	2	14	5	35	4	28
kWh/kg	7	3	21	1	7	2	14	2	14	5	35	5	35	4	28	4	28
Inversió Inicial (€)	6	5	30	3	18	4	24	1	6	3	18	1	6	4	24	2	12
Vida Útil (anys)	5	2	10	5	25	3	15	3	15	4	20	4	20	2	10	2	10
Unitats	3	4	12	4	12	5	15	4	12	5	15	4	12	4	12	3	9
Suma (pxg)	57		163		178		183		174		192		197		167		171
Total			0,572		0,625		0,642		0,611		0,674		0,691		0,586		0,600

Taula 24. Quadre resum dels resultats obtinguts mitjançant el mètode VTP. Annex IV

Es conclou que la opció amb la puntuació més alta i en conseqüència la solució final adoptada és la corresponent a la número 6, relativa a la col·locació de dos unitats del model de mini-aerogenerador *Bornay 6kW*.

## 7. Ubicació de la Instal·lació Minieòlica

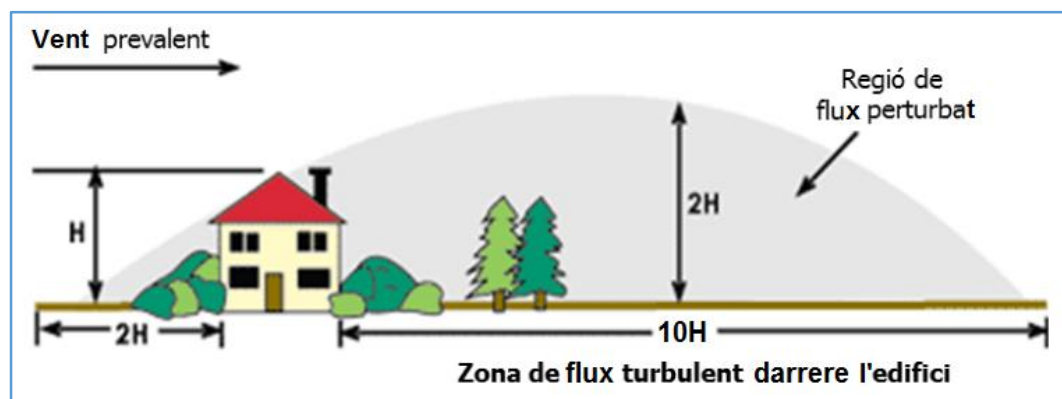
### 7.1. Aspectes Energètics

*Un dels majors reptes que presenta l'ús de l'energia eòlica és la localització d'un emplaçament adequat per ubicar l'aerogenerador. Per realitzar correctament aquesta tasca, existeixen dues regles essencials a tenir en compte.*

*La primera regla estableix que l'aerogenerador ha d'estar el més exposat possible al vent, tenint en compte la seva direcció predominant. La segona, determina el fet que la torre de suport de l'artefacte (en cas que es decideixi dotar l'aerogenerador de l'esmentada estructura) ha de ser el més alta possible, per aprofitar d'aquesta manera els vents més ràpids i els fluxos laminars.*

*Adicionalment, és fonamental ubicar la instal·lació en un lloc lliure d'obstacles, ja siguin edificis, arbres o d'altres, i a una altura que asseguri que el vent no es veu afectat pel flux turbulent provocat per la interacció amb els obstacles esmentats.*

*Com a regla general i aproximada, si hi ha un obstacle en la direcció en que bufa el vent, per poder captar un flux lliure de turbulències, l'aerogenerador ha de situar-se a una distància unes 10 vegades l'alçada de l'obstacle.*



*Figura 23. Col·locació del mini-aerogenerador segons els obstacles presents al terreny [1]*

*Puntualment també es pot incrementar l'aprofitament del vent, si l'aerogenerador es localitza en una ubicació on es produeixin fenòmens com ara l'efecte pendent (per exemple, situar la instal·lació en algun monticle o terreny elevat), l'efecte túnel (en un turó o similar) o altres. [1]*

Els dos aerogeneradors *Bornay 6kW* escollits per a ser col·locats en l'escola *Liceo Egara* presenten dues possibles opcions d'instal·lació, tenint en compte els conceptes desenvolupats en els paràgrafs previs.

La primera opció consisteix en situar la turbina eòlica sobre una torre encastada al terra mitjançant una base de formigó. La segona opció recau en la col·locació de l'aerogenerador directament sobre la coberta de l'edifici.

Ambdues opcions presenten els seus avantatges i inconvenients, els quals és imprescindible analitzar i valorar per arribar a una conclusió final, en referència a la millor ubicació per a la instal·lació minieòlica. La taula mostrada a continuació recull els pros i contres de cadascuna de les opcions definides anteriorment.

Torre		Coberta	
Avantatges	Desavantatges	Avantatges	Desavantatges
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Major alçada.</li> <li>✓ Recomanació del fabricant.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pèrdua d'espai.</li> <li>✓ Augment dels costos.</li> <li>✓ Augment dels riscos relatius a la seguretat humana.</li> <li>✓ Major impacte visual.</li> <li>✓ Dificultat per trobar un espai apte per a la col·locació de la torre.</li> <li>✓ Necessitat de fonamentació.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disminució del cost del projecte.</li> <li>✓ Aprofitament de l'espai.</li> <li>✓ Major seguretat.</li> <li>✓ Menor impacte visual.</li> <li>✓ Instal·lació més senzilla.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Alçada limitada pels edificis de l'escola.</li> <li>✓ Limitacions estructurals.</li> <li>✓ Augment d'obstacles.</li> <li>✓ Necessitat d'un suport.</li> </ul>

*Taula 25. Comparació dels dos possibles sistemes de suport de la turbina analitzats*

La instal·lació dels aerogeneradors sobre una torre és una opció altament complicada en el cas particular del present projecte. Tenint en compte el fabricant escollit, l'alçada màxima aconseguida amb la col·locació d'una torre és de 13 metres, la qual és considerada suficient i adequada. No obstant, alguns dels desavantatges derivats d'aquesta alternativa són insalvables.

Per motius de seguretat i amb la finalitat de prevenir qualsevol dany en cas de caiguda de la torre, es recomana que la distància mínima d'aquesta a qualsevol habitatge sigui superior a l'alçada de la mateixa, concretament la recomanació del fabricant estableix aquesta distància com el doble de l'alçada de la torre (26 m). En conseqüència, la torre ha de ser col·locada a una distància mínima de 26 metres de cada edifici del centre educatiu i dels habitatges veïns. L'escola *Liceo Egara* no disposa de l'espai suficient per complir aquest requeriment bàsic de seguretat, donat que suposa la pèrdua de zones d'esbarjo o la realització d'obres de reestructuració dels edificis de l'escola que, com en el cas anterior, deriven en la pèrdua de zones destinades a l'ensenyament i esdevenen un important augment dels costos del projecte.



La decisió final sobre la ubicació dels aerogeneradors, tenint en compte els aspectes energètics definits, es centra en la col·locació de les turbines eòliques directament sobre la coberta dels edificis del centre educatiu. Aquesta decisió no es veu afectada per requeriments espacials, implica una major seguretat pel personal de l'escola i estableix uns costos més fàcilment assolibles. Els aspectes a tenir en compte en el desenvolupament d'aquesta solució són els següents.

- ✓ Identificar entre els edificis de l'escola els punts de major alçada.
- ✓ Assegurar la no interferència del vent amb possibles obstacles presents a l'entorn urbà i al mateix centre.
- ✓ Assegurar la seguretat estructural de l'edifici, tenint en compte el pes de les turbines i la seva situació sobre les cobertes.
- ✓ Implementar un suport al sostre per col·locar sobre aquest la turbina.

Definida l'opció final i establerts els requeriments necessaris per la correcta disposició dels artefactes, tenint en compte l'aprofitament energètic, es realitza una primera proposta basada en la instal·lació de les turbines sobre l'edifici 3 o els edificis 4-5-6.



*Figura 24. Primera proposta de col·locació de les turbines minieòliques Bornay 6kW [31]*

És necessari l'anàlisi d'altres factors d'igual importància per arribar a la decisió final sobre la ubicació de la instal·lació. Aquests aspectes són tractats en els apartats redactats a continuació.



## 7.2. Aspectes d'Impacte Visual

*Els mini-aerogeneradors tenen una gran vocació d'integració en entorns urbanitzats gràcies a les seves mides reduïdes. En comparació a un gran aerogenerador, les turbines de baixa potència provoquen un impacte aproximadament 20 vegades menor. No obstant, els mini-aerogeneradors són dissenyats per estar situats dintre dels nuclis urbans i per tant, com a elements del mobiliari urbà, és necessari desenvolupar solucions que minimitzin l'impacte visual i que siguin atractives pels ciutadans.*

*Actualment, no existeix una normativa sobre la instal·lació d'aerogeneradors de baixa potència en zones urbanes. [1] Tanmateix, el projecte abasta l'aspecte visual del sistema minieòlic donat que es considera necessari incidir sobre dos conceptes fonamentals d'aquest: el projecte educatiu i el benestar públic.*

### 7.2.1. Projecte Educatiu

La funcionalitat educativa de la instal·lació eòlica condueix a cercar una ubicació per als aerogeneradors que sigui visible per als alumnes i el professorat de l'escola.

La major part del projecte educatiu es situa a la zona d'esbarjo exterior i fa un ús visual de les turbines, tal com s'especifica a l'apartat “13.1. Disseny i Descripció del Projecte Educatiu”. En conseqüència, és imprescindible que els aerogeneradors puguin ser visualitzats des de la zona del pati. La imatge mostrada a continuació clarifica la informació presentada prèviament.



**Figura 25.** Especificació de la zona d'esbarjo des d'on els artefactes han de ser visualitzats [31]

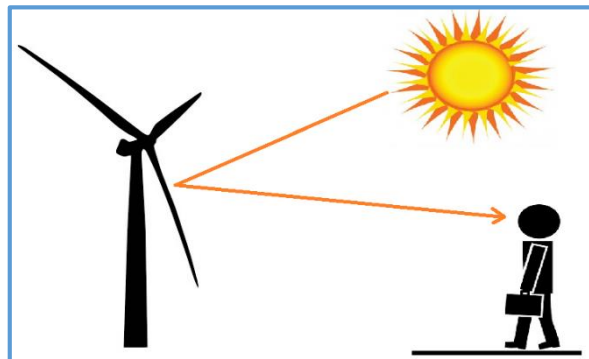
Per una altra part, la voluntat de crear una consciència social i educativa sobre les energies renovables i el medi ambient, permet considerar positivament l'impacte visual produït sobre la ciutadania externa al centre. Addicionalment, les turbines eòliques de baixa potència posseeixen dissenys estèticament atractius que es camuflen perfectament amb el mobiliari urbà.

### 7.2.2. Benestar Públic

La instal·lació de mini-aerogeneradors en l'entorn urbà pot provocar certs efectes i fenòmens visuals perjudicials per la salut i el benestar de les persones properes a les turbines minieòliques. En comparació amb la gran eòlica, aquests fenòmens es veuen minimitzats a causa de les reduïdes dimensions dels artefactes aplicats en la minieòlica. No obstant, aquest projecte té en compte alguns dels efectes visuals més comuns amb la finalitat d'ubicar el sistema minieòlic en la zona més adequada, on es minimitzin al màxim els possibles danys derivats de la instal·lació.

Principalment, s'incidirà sobre dos efectes visuals concrets: l'enlluernament i el *parpelleig per ombra de les pales*. Els següents paràgrafs defineixen cadascun d'aquests conceptes i estableixen la millor solució d'ubicació en referència a aquests.

*La reflexió intermitent dels rajos solars sobre les aspes de la turbina por esdevenir en l'anomenat fenomen d'enlluernament, la qual cosa suposa un efecte molest en alguns observadors. Si els aerogeneradors es troben pròxims a una carretera pot ser un focus de distracció pels conductors.*



**Figura 26.** Efecte d'enlluernament provocat per les aspes de la turbina minieòlica

*La intensitat del flaix depèn de l'elevació solar, l'orientació de la turbina, el moviment de les aspes i la seva velocitat de rotació, així com la reflectivitat de la superfície de la gòndola i de les mateixes aspes.*

*Per evitar aquest possible inconvenient, en els nous dissenys d'aspes de mini-aerogeneradors, els fabricants empren materials com compòsit i fibra de carboni, els quals presenten un aspecte superficial mate o apagat. Addicionalment, es pinten amb recobriments antireflectants. [3]*

El problema d'enlluernament en el cas de la minieòlica no té un pes important, a causa de les dimensions reduïdes de les turbines, la seva integració en el mobiliari

urbà i el seu disseny modernitzat. No obstant, en la ubicació del sistema minieòlic a l'escola *Liceo Egara* es considerarà una localització el més allunyada possible de les vies per on circula el tràfic.

Per una altra part, la rotació de les aspes de la turbina contra el fons del cel, particularment si el Sol es troba darrere de l'aerogenerador, produeix un efecte de reflex anomenat *parpelleig per ombra de les pales*. Particularment, aquest fenomen es produeix a les hores del capvespre i pot suposar un efecte molest per als individus que el pateixin, en alguns casos, si l'exposició temporal a aquest fenomen és elevada, l'observador pot patir un malestar físic traduït en aparició de nàusees i vòmits, migranya i episodis epilèptics. [3]

Conseqüentment, la col·locació dels aerogeneradors sobre els sostres dels edificis que conformen el centre contempla els aspectes visuals comentats anteriorment, els quals es resumeixen en la taula següent.

Impacte Visual	Solució
<b>Visualització Externa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disseny de la turbina.</li> <li>✓ Necessitat de ser visualitzada des de la zona d'esbarjo.</li> </ul>
<b>Efecte d'Enlluernament</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disseny de la turbina.</li> <li>✓ Evitar la col·locació pròxima a les vies urbanes, especialment per on circulen vehicles.</li> </ul>
<b>Parpelleig per Ombra de Pales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Garantir una col·locació que eviti la projecció d'ombres a les vies urbanes durant el vespre.</li> </ul>

*Taula 26. Quadre resum dels impactes visuals considerats i les seves possibles solucions*

L'objectiu de localitzar el sistema minieòlic en una ubicació adequada, la qual eviti o minimitzi al màxim els fenòmens descrits anteriorment, condueix a la realització d'un estudi del patró d'ombres provocat per les turbines *Bornay 6kW*.

Utilitzant l'eina informàtica *on-line*, proporcionada per la pàgina web [www.suneearthtools.com](http://www.suneearthtools.com) [17], es procedeix a determinar el patró d'ombres de la instal·lació.

Partint de les opcions presentades en l'apartat “7.1. Aspectes Energètics” i tenint en compte l'anàlisi del camí solar i les ombres produïdes per aquest, així com els requeriments procedents del projecte educatiu, s'arriba a la conclusió de descartar la ubicació dels aparells sobre els edificis 4-5-6.

Incidint sobre els aspectes visuals tractats en aquest apartat, la decisió anterior es sustenta sobre dues premisses. Primerament, la necessitat de que la instal·lació minieòlica sigui visualitzada des de la zona d'esbarjo de l'escola per poder desenvolupar de manera adequada el projecte educatiu. La segona premissa recau sobre la proximitat dels artefactes a la zona urbana, la qual cosa provoca una major presència dels fenòmens provocats per l'efecte solar sobre les pales de les turbines, a més d'un major impacte estètic sobre els edificis del centre educatiu.



Els edificis 4-5-6, més pròxims als carrers i als habitatges veïns, presenten una major exposició exterior, per contra, l'edifici 3 recull les característiques cercades i es converteix en l'opció més adequada. És necessari clarificar que la decisió de descartar els edificis 4-5-6 no es basa únicament en aspectes visuals, existeixen altres raons argumentades en paràgrafs posteriors.

Considerant la selecció de l'edifici 3 com a localització principal dels aerogeneradors, es mostren dues imatges representatives del patró d'ombres present en l'edifici seleccionat, extretes de "l'Annex VI del "Document 4 – Annexos".



**Figura 27.** Patró d'ombres de la "turbina A" corresponent al mes de Gener [17]



**Figura 28.** Patró d'ombres de la "turbina B" corresponent al mes de Gener [17]

Ambdues imatges mostren l'escenari més desfavorable, el qual es presenta durant els mesos d'hivern. Concretament, la situació més preocupant es dona per part de la turbina B, ja que les ombres produïdes per les aspes de l'artefacte arriben a l'exterior de l'escola i poden perjudicar a la població aliena a aquesta. No obstant, no es considera en cap cas un fet greu que impossibiliti la instal·lació de les turbines.

S'observa que, situant els mini-aerogeneradors sobre la coberta de l'edifici 3, s'aconsegueix que els fenòmens provocats per l'efecte solar quedin majoritàriament reclosos dintre del centre, principalment en la zona d'esbarjo i sobre els mateixos edificis d'aquest. Tenint en compte que el trànsit humà sobre la zona d'esbarjo és limitada (la presència d'alumnes i docents sobre aquesta es dona en horaris d'esbarjo i situacions particulars), s'estableix com a una bona opció que minimitza els possibles efectes perjudicials derivats de la instal·lació.

### 7.3. Aspectes Acústics

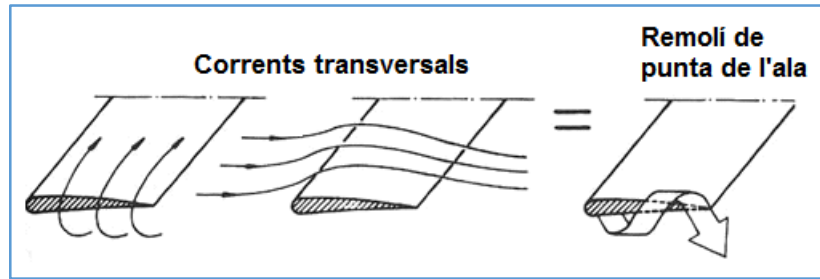
*El soroll és un so no desitjat, sent el so una variació de la pressió en l'ambient que es propaga a través d'un mitjà elàstic, com és el cas de l'aire. Les molècules d'aire, de manera alternada, són sotmeses a una compressió i expansió temporal sota una freqüència determinada i característica del mitjà. Aquestes variacions de pressió són captades per l'oïda humana.*

*La reducció del soroll té dos efectes beneficiosos, per una part complir amb la llei de prevenció de riscos laborals. Per una altra part, aconseguir per tothom "l'estat de benestar físic, mental i social complet i no merament l'absència de malaltia", definició donada per la Organització Mundial de la Salut (O.M.S.).*

*La turbina d'un aerogenerador produeix dos tipus de soroll, mecànic i sonor.*

*La vibració mecànica és produïda a la caixa d'engranatges i en els mecanismes de transmissió del moviment de les aspes, i presenta diverses tonalitats. L'aïllament d'aquest tipus de soroll és senzill i s'aconsegueix tancant els mecanismes en una caixa aïllant, instal·lant muntatges anti-vibratoris i amortidors o bé utilitzant caixes d'engranatges especialment dissenyades per generar nivells baixos de soroll.*

*El soroll aerodinàmic prové del flux turbulent de l'aire al passar per la superfície de les aspes del rotor de l'aerogenerador, presentant-se en una ampla gamma de freqüències. Tanmateix, el soroll de commutació està relacionat amb els sorolls naturals com el vent bufant a través dels arbres.*



**Figura 29.** Formació de l'anomenat remolí de punta de l'ala

*La diferència de pressions entre la part superior i inferior de l'aspa tendeix a crear unes corrents d'aire transversals que se superposen a la corrent longitudinal normal de l'aire al voltant de la pala, originant els anomenats remolins de punta de l'ala, els quals es desplacen cap enrere, enroscant-se en sentits oposats. Així doncs, les petites variacions en la velocitat del vent poden afectar de forma dramàtica al nivell sonor de l'aerogenerador. [3]*

És important tenir en consideració l'aspecte de contaminació acústica si es vol complir amb la normativa vigent i garantir el benestar de les persones properes a la instal·lació.

Els paràgrafs presentats a continuació mostren la informació i els càlculs referents a les turbines instal·lades en l'escola *Liceo Egara* necessaris per determinar si el nivell acústic generat per les màquines és adequat i compleix amb la normativa vigent, garantint així el benestar i la seguretat de les persones.

Abans de procedir amb els càlculs pertinents, és imprescindible l'aclariment i definició de dos conceptes que poden donar lloc a confusió: el nivell de potència acústica i el nivell de pressió sonora. El primer fa referència al soroll produït per una font sonora determinada, en aquest cas l'aerogenerador, mentre que el nivell de pressió sonora determina la quantitat de so que arriba en un cert punt de l'espai. Ambdós conceptes s'expressen en unitats de decibels (dB).

Conseqüentment, la potència acústica queda determinada per una condició de funcionament d'una màquina, mentre que el nivell de pressió depèn d'altres factors com la distància entre el focus del soroll i el punt a avaluar, la direcció, o l'existència d'altres sorolls a l'entorn.

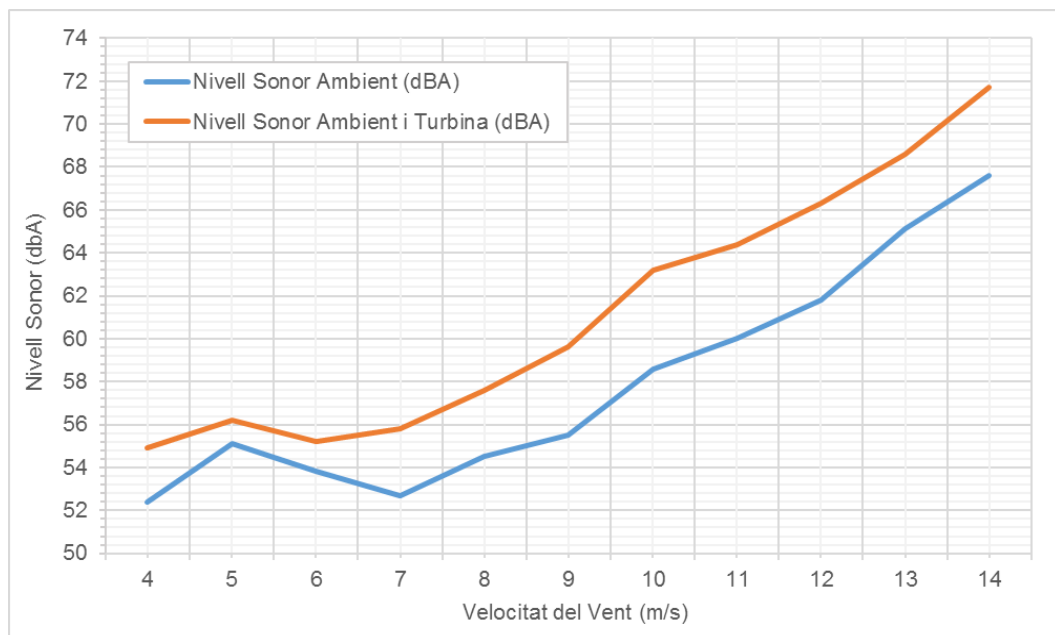
Generalment, les especificacions tècniques dels aerogeneradors estableixen el nivell sonor de l'ambient registrat en presència de la màquina, mitjançant la unitat del *decibel A (dBA)*. *El decibel A és una unitat de nivell sonor mesurada amb un filtre previ que elimina part de les baixes i les molt altes freqüències. D'aquesta manera, després de la mesura es filtra el so per conservar únicament les freqüències més perjudicials per l'oïda humana, raó per la qual la exposició mesurada en dBA és un bon indicador del risc auditiu i vital. [18]*

En el cas del fabricant *Bornay*, subministrador de les turbines *Bornay 6kW* emprades en aquest projecte l'esmentat valor no ve determinat en les especificacions tècniques de l'artefacte. No obstant, contactant amb el mateix fabricant, s'aconsegueix obtenir un estudi sonor de l'aerogenerador. La taula adjuntada a continuació mostra la informació relativa a aquest estudi, el qual va ser realitzat amb un sonòmetre localitzat a 10 metres de la base de la torre.

Velocitat del Vent (m/s)	Nivell Sonor de l'Ambient (dBA)	Nivell Sonor de l'Ambient i la Turbina (dBA)	Diferència Aportada per la Turbina (dBA)
4	52,4	54,9	2,52
5	55,1	56,2	1,13
6	53,8	55,2	1,41
7	52,7	55,8	3,09
8	54,5	57,6	3,05
9	55,5	59,6	4,11
10	58,6	63,2	4,63
11	60	64,4	4,44
12	61,8	66,3	4,50
13	65,1	68,6	3,53
14	67,6	71,7	4,12

*Taula 27. Dades extretes de l'estudi sonor de l'aerogenerador Bornay 6kW. Annex VII*

Amb les dades mostrades prèviament i amb la finalitat de presentar la informació de manera més entenedora i visual es desenvolupa el gràfic següent.



*Figura 30. Comparació del nivell sonor de l'ambient i el nivell sonor en presència de la turbina eòlica Bornay 6kW en relació amb la velocitat del vent registrada*

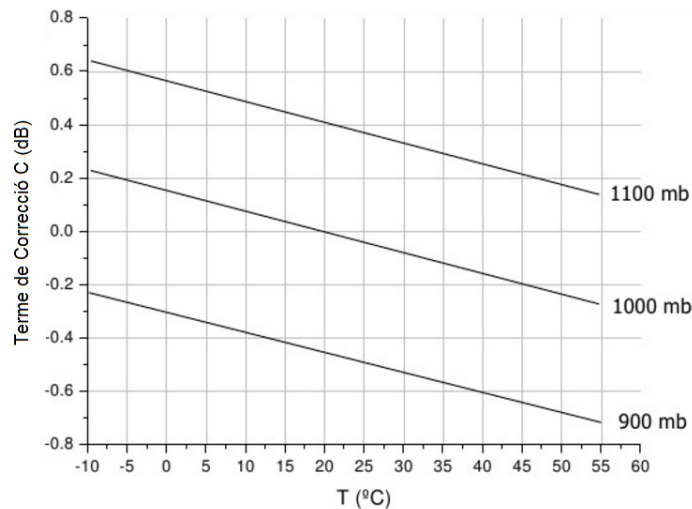
S'observa que la instal·lació de la turbina no suposa un gran increment del nivell sonor en l'ambient. El màxim valor aportat per la turbina són *4,63 dBA* sobre l'ambient, fenomen gairebé imperceptible.

Per verificar que la instal·lació eòlica és apta per la salut pública i compleix amb la legislació establerta és necessari determinar el nivell de pressió sonora en la zones més pròximes als artefactes on és registrada algun tipus d'activitat humana. L'expressió mostrada a continuació permet calcular el nivell de pressió sonora generat per una font, en aquest cas la turbina eòlica objecte de l'estudi, en un punt determinat.

$$L_{Ap} = L_{Aw} + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi r^2} \right) + C \quad [2]$$

On  $L_{Ap}$  (dBA) és el nivell de pressió sonora cercat,  $L_{Aw}$  (dBA) fa referència a la potència acústica pròpia de la turbina *Bornay 6000W*,  $r$  (m) és la distància a la font i  $C$  és un factor de correcció que depèn de la temperatura i la pressió a la qual es troba el punt on es vol determinar el nivell de pressió sonora.

El gràfic mostrat a continuació determina aquest factor de correcció (dB) en funció de la temperatura (°C) i la pressió (mb) presents en el lloc d'estudi.



**Figura 31.** Factor de correcció sonora en funció de temperatura i pressió [19]

L'estudi incideix sobre el cas particular de l'aerogenerador A, situat sobre l'aula de *tercer C*. La decisió relativa a escollir aquesta turbina per realitzar els càlculs es basa en el fet que és la que presenta l'escenari més desfavorable, en tant que els seus efectes recauen directament sobre els integrants de l'edifici. En el cas de l'aerogenerador B, al estar situat sobre una zona de pas (espai ocupat per les escales i l'ascensor) el seu efecte directe sobre les persones és menor donat que aquestes s'exposen durant un curt període de temps a les possibles emissions sonores i vibracions de l'aerogenerador.



Els càlculs següents, referits a la turbina A són realitzats sota unes condicions de temperatura de 20°C i de pressió de 1000 mb (pressió atmosfèrica). Es decideix calcular el nivell acústic en les aules situades sota l'aerogenerador, donat que són les possibles zones més perjudicades. Addicionalment, es pren com a valor de potència acústica generada per la turbina un nivell sonor de 55 dBA, el qual es correspon a una velocitat del vent de 4 m/s, valor més proper a la velocitat mitjana de l'emplaçament (es recorda que mitjançant l'estudi del vent, dut a terme en l'apartat "5.2.3. *Estudi del Vent en el Centre Educatiu Liceo Egara*", i realitzant la *corba de Weibull* pertinent, la velocitat amb més probabilitat de ser donada en les proximitats del centre correspon a un valor de 3,7 m/s).

$$\text{Planta 2 (Aula de tercer C)} \rightarrow L_{Ap} = 55 + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi 3^2} \right) \approx 34 \text{ dBA}$$

$$\text{Planta 1 (Aula de tercer B)} \rightarrow L_{Ap} = 55 + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi 6^2} \right) \approx 28 \text{ dBA}$$

$$\text{Planta B (Aula d'informàtica)} \rightarrow L_{Ap} = 55 + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi 9^2} \right) \approx 25 \text{ dBA}$$

A partir dels resultats superiors s'observa que, a mesura que el punt d'estudi s'allunya de la font la pressió sonora disminueix. En conseqüència, el valor que marcarà les conclusions d'aquest estudi és l'obtingut per l'aula de *tercer C*, 34 dBA.

Amb la finalitat de fer un anàlisi més detallat i exacte, es contempla una possible situació en que es produeixi una interferència constructiva entre les dues fonts emissores, és a dir entre les dues turbines eòliques instal·lades al centre. Aquest passa a ser l'escenari més desfavorable.

Primerament es sumen les potències sonores de les dues fonts implicades. Al tractar-se d'una suma logarítmica, es pot assumir que per dos nivells d'igual valor, la suma s'obté afegint 3 dBA al valor anterior. Tanmateix, es pot aplicar l'expressió matemàtica mostrada seguidament.

$$L_{Aw} \text{ Total} = 10 \log \left( \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{Awi}}{10}} \right) [4]$$

$$L_{Aw} \text{ Total} = 10 \log \left( 10^{\frac{55}{10}} + 10^{\frac{55}{10}} \right) = 58 \text{ dBA}$$

Finalment es torna a realitzar el càlcul dels nivells de pressió sonora. Aquest cop únicament es contempla el punt més proper a la turbina, corresponent a l'aula de *tercer C*, en tant que serà el valor més desfavorable tal com s'ha especificat prèviament.

$$\text{Planta 2} \rightarrow L_{Ap} = 58 + 10 \log \left( \frac{1}{4\pi 3^2} \right) \approx 37 \text{ dBA}$$

Obtinguts els valors de nivell acústic en les zones més exposades, es realitza la comparació amb els nivells d'immissió sonora màxims permessos, establerts per la normativa vigent, corresponent a *lleí 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica*, i annexos modificats segons el *Decret 176/2009, de 10 de novembre*, pel qual s'aprova el Reglament de la Llei.

*És necessari clarificar que el nivell d'immissió sonora es defineix com el nivell acústic mitjà existent durant un període de temps determinat i és mesurat en un lloc concret. Sent, el valor límit d'immissió, aquell nivell màxim permès dins d'un període de temps determinat. Queda definit mitjançant la següent expressió.*

$$L_{Ar} = L_{Aeq, T}$$

✓ *Tenint en compte l'horari diürn.*

$$L_{Ar} = 10 \log \left[ \frac{1}{780} \sum_i \left( T_i \cdot 10^{\frac{L_{Ar,i}}{10}} \right) \right]$$

✓ *Tenint en compte l'horari nocturn.*

$$L_{Ar} = 10 \log \left[ \frac{1}{660} \sum_i \left( T_i \cdot 10^{\frac{L_{Ar,i}}{10}} \right) \right]$$

On "i" fa referència a cadascuna de les fases de soroll,  $T_i$  representa la duració de la fase del soroll i  $L_{Ar,i}$  és el nivell d'avaluació corresponent a la fase "i". [21]

*Existeixen dues possibles situacions d'immissió.*

- ✓ Immissió a l'ambient exterior. Contaminació produïda pel soroll i les vibracions provinents d'un o diversos emissors acústics situats al medi exterior del centre receptor.
- ✓ Immissió a l'ambient interior. Contaminació produïda pel soroll i les vibracions provinents d'un o diversos emissors acústics situats al mateix edifici o en edificis contigus del centre receptor. [22]

El cas d'estudi referent al sistema eòlic recollit en aquest projecte no proporciona les dades suficients per determinar els nivells d'immissió produïts pels aerogeneradors instal·lats. Tanmateix, la comparació per determinar si es compleix amb la legislació vigent sobre l'acústica ambiental es pot realitzar tenint en compte el valor màxim de pressió sonora generada pels aparells, calculat anteriorment. Es planteja la situació on aquest nivell acústic màxim, extret de la situació més desfavorable per l'escola, es manté durant un període de temps suficient per tenir-lo en consideració.

La següent taula recull els valors límit d'immissió tenint en compte els tres possibles casos que poden esdevenir a causa de la instal·lació dels artefactes en l'escola *Liceo Egara*.

Cas Exterior			
Període del dia	(7h - 21h)	(21h - 23h)	(23h - 7h)
Predomini del sòl d'ús sanitari, docent i cultural	50	50	40
Cas Interior			
Període del dia	(7h - 21h)	(21h - 23h)	(23h - 7h)
Aules	35	35	35
Sales de lectura, audició i exposició	30	30	30
Cas Vibracions			
Potència sonora de la font	Law		
Educatiu o cultural	75		

**Taula 28.** Resum dels nivells límit d'immissió sonora considerant els diferents casos possibles.  
Annex VIII

Analitzant i comparant els resultats obtinguts i exposats, s'observa que en els tres casos presentats el nivell acústic generat per la turbina A no suposa un incompliment de la legislació vigent. Es presenta, únicament, un cas on el nivell sonor supera els nivells d'immissió permesos, aquest és el cas de la immissió sonora aplicada a l'ambient interior quan es dona el fenomen d'interferència constructiva. L'esmentat fenomen es produeix sota unes condicions determinades i per tant, es tracta d'un efecte puntual i de difícil aparició. Addicionalment, si la interferència constructiva té lloc en la instal·lació, el nivell sonor se supera en 2 dBA, variació considerada menyspreable.

En conseqüència, s'afirma que la instal·lació minieòlica situada al centre educatiu *Liceo Egara* compleix amb la legislació vigent sobre l'acústica ambiental i no suposa, en cap cas, un risc per l'activitat de l'escola.

#### 7.4. Aspectes de seguretat

*La seguretat d'una instal·lació minieòlica és important i la ubicació d'aquesta pot suposar una prevenció notable de riscos. Altres aspectes com el disseny de les turbines afecten directament a la seguretat d'aquestes, però el present apartat se centra únicament en proposar la ubicació més adequada, que garanteixi els mínims riscos al personal proper al sistema minieòlic.*

*En funció de la ubicació dels artefactes, és imprescindible considerar les condicions atmosfèriques que es poden donar al llarg de l'any tal com gel, neu, temperatures extremes, salinitat i corrosió, exposició ultraviolada o humitat. [1]*

En el cas de l'escola *Liceo Egara*, situada a Terrassa (Barcelona), no són gaire habituals les condicions atmosfèriques extremes, donat que el clima és temperat.

A l'hivern, les nevades o gelades són mínimes o inexistents. En quant a la salinitat la corrosió i la humitat, es consideren fenòmens de baixa importància en el cas que ocupa el present projecte, donat que la ciutat no es troba propera a la costa. Els estius presenten temperatures altes però no suficientment elevades per ser considerades un possible factor de risc.

És important planificar la disposició de les turbines tenint en compte les persones que puguin circular en les proximitats d'aquestes.

*El gel format sobre la gòndola és desfet per la calor emesa pels mateixos components de l'aerogenerador, convertint-se en aigua amb la possibilitat de gelar-se en zones properes a la turbina i caure com una gran massa, sent perillós per les persones situades a les proximitats de l'aparell. [3]*

Seguidament es presenta l'equació matemàtica simplificada que estableix el diàmetre del cercle de risc de la turbina.

$$d = (D + H) \cdot 1,5$$

On  $d$  és la distància màxima de llançament del bloc de gel,  $D$  és el diàmetre del rotor en metres i  $H$  l'alçada a la qual es troba situada la turbina.

Aplicant el càlcul anterior, s'obté el cercle de risc pels mini-aerogeneradors *Bornay 6kW*.

$$d = (4 + 9) \cdot 1,5 = 19,5 \text{ m}$$

$$d = (4 + 11) \cdot 1,5 = 22,5 \text{ m}$$

*La detecció automàtica del gel en les aspes de la turbina es basa, entre altres sistemes, en la detecció d'una petita baixada de potència amb relació a la velocitat del vent, la qual cosa suposa una indicació d'una possible formació incipient de gel en les aspes. [3]*

Si el rotor està parat, el gel format en les pales d'aquest pot caure en petits fragments. Una fórmula aproximada que dóna la distància màxima de caiguda és:

$$d = v \cdot \frac{\frac{D}{2} + 4}{15}$$

On  $d$  és la distància màxima de llançament del bloc de gel,  $D$  és el diàmetre del rotor en metres i  $v$  és la velocitat experimentada pel rotor definida en unitats de metres per segon.

Per motius espacials, no és possible respectar la distància determinada pel cercle de risc, calculada anteriorment. No obstant, tenint en compte les reduïdes dimensions dels mini-aerogeneradors i la freqüència de gelades en la zona on se

situa el centre educatiu no es considera un factor determinant sobre la ubicació final dels artefactes o el desenvolupament del projecte. Tanmateix, serà necessari considerar una ubicació on es minimitzin els possibles riscos derivats de les condicions atmosfèriques adverses i augmentar l'atenció sobre aquests fenòmens durant la vida útil i operativa de la instal·lació, especialment en períodes freds.

La possible ruptura de l'aerogenerador també suposa un factor de risc sobre la instal·lació minieòlica. Com en el cas anterior, es considera prioritària una ubicació on es minimitzin els possibles danys causats per aquest fet. Tanmateix, els riscos derivats d'aquest aspecte recauen principalment sobre el disseny de la turbina eòlica i en conseqüència del fabricant de l'esmentada.

L'empresa *Bornay* dota als seus mini-aerogeneradors amb els sistemes de seguretat corresponents i estableix els períodes de manteniment dels artefactes amb les corresponents instruccions. Addicionalment, defineix la vida útil del producte mitjançant estudis estadístics i experimentals. La suma dels factors enumerats en aquest paràgraf resulta en una mínima probabilitat de ruptura de les turbines.

En conseqüència, es conclou que la possible fallada o ruptura de la turbina és un aspecte que depèn en gran mesura del disseny de la màquina i es considera que el fabricant proporciona unes bones referències, tal i com s'estableix en l'apartat "9.2.1. Seguretat en la Instal·lació Minieòlica".

## **7.5. Altres aspectes a considerar**

Finalment, és necessari enumerar dos aspectes rellevants en el cas de la gran eòlica però considerats menyspreables en el cas del present projecte a causa de l'ús d'aerogeneradors de baixa potència.

Per una part, l'existència de possibles pertorbacions electromagnètiques degudes als camps electromagnètics produïts al generar electricitat (fenomen comú en altres instal·lacions) o produïdes pel funcionament de la mateixa estructura. Aquestes pertorbacions poden resultar en interferències sobre senyals de ràdio, de radar o de satèl·lit ja que, les aspes de les turbines reflecteixen les senyals procedents d'aquests focus anomenats receptors, els quals reben les mateixes senyals de manera directa i reflectida.

L'efecte d'aquest fenomen en els mini-aerogeneradors és menyspreable, no obstant, es pot minimitzar mitjançant repetidors o modificant l'equip receptor. En quant a la salut humana, els efectes electromagnètics induïts per les turbines eòliques són limitats i es consideren massa dèbils per establir-se com a nocius.

Finalment, s'esmenta l'afectació sobre la vida animal, principalment aus. Aquest és un aspecte important en referència a la gran eòlica en tant que, els parcs d'aerogeneradors poden modificar l'ecosistema de manera notòria, destruint-lo i contaminant-lo. S'aconsella, en aquests casos, ubicar els parcs en emplaçaments on s'evitin zones migratòries i d'alimentació d'ocells.

Les turbines de baixa potència no presenten un impacte apreciable sobre la fauna. Degut a les reduïdes mides dels aparells i la presència mínima d'aus en zones urbanes, es considera aquest factor menyspreable per tant, l'estudi de la ubicació final dels aerogeneradors *Bornay 6kW* no el contempla.

## 7.6. Ubicació Final

Aquest últim apartat té la finalitat de concloure i justificar les localitzacions definitives de les turbines seleccionades en aquest projecte.

Amb la finalitat de compactar i simplificar tota la informació exposada en els apartats anteriors, referents als aspectes a considerar sobre la ubicació de les turbines eòliques en el centre educatiu *Liceo Egara*, es presenta un quadre resum. Aquest quadre, mostrat a continuació, enumera els aspectes esmentats prèviament i els hi atribueix una puntuació, els valors de la qual se situen entre l'1 (baixa rellevància) i el 5 (alta rellevància).

Aspectes Considerats	Rellevància dels Aspectes
<b>Aspectes Energètics</b>	
Exposició al Vent (Lliure d'obstacles)	5
Alçada	5
<b>Impacte Visual</b>	
Visualització de la instal·lació des de la zona d'esbarjo (Projecte Educatiu)	4
Visualització de la instal·lació des de les vies urbanes, externes al centre	1
Efectes Visuals d'enlluernament i parpelleig per ombra de pales	3
<b>Aspectes Acústics</b>	
Compliment de la Legislació	3
Benestar del personal del centre	5
Benestar del personal extern al centre	4
<b>Aspectes de Seguretat</b>	
Condicions atmosfèriques extremes (principalment gelades)	2
Ruptura de l'aerogenerador	2
<b>Altres Aspectes</b>	
Pertorbacions Electromagnètiques	1
Afectació sobre la vida animal	1

**Taula 29.** Quadre resum dels aspectes considerats en la ubicació del sistema minieòlic amb la corresponent atribució del grau d'importància de cadascun

La puntuació establerta, relativa a la rellevància de cada aspecte, es determina de manera subjectiva, considerant la localització de l'escola *Liceo Egara* (Terrassa). D'aquesta manera els aspectes energètics i els aspectes relacionats amb el benestar de les persones s'estableixen com a prioritaris, així com la visualització dels artefactes des de la zona d'esbarjo de l'escola, en tant que és un requisit imprescindible per dur a terme el projecte educatiu de manera satisfactòria. En conseqüència la ubicació final compleix necessàriament amb aquests requisits.

Per una altra part, els aspectes dotats amb baixes puntuacions impliquen una menor importància en quant a la decisió sobre la ubicació final. El fet que en aquest projecte no es considerin determinants sobre la solució final no implica que la seva rellevància sigui menor en termes generals. És a dir que, cada projecte és únic i posseeix unes característiques a considerar sobre la ubicació de la instal·lació, en tant que les variables són múltiples.

En el cas del present projecte, la baixa rellevància sobre la ubicació final atribuïda als aspectes sobre la seguretat es deu principalment a que la probabilitat de que es donin els factors de risc definits (condicions atmosfèriques extremes i possible ruptura de l'artefacte) és mínima, tenint en compte el clima de la ciutat i les garanties sobre el disseny de la turbina proporcionada pel fabricant. Addicionalment, l'espai disponible al centre educatiu és limitat i no es poden abastar grans perímetres de seguretat, per tant s'ha de valorar sempre la millor opció considerant els recursos disponibles.

A partir de tota la informació aportada en aquest apartat l'edifici 3 es posiciona com la ubicació final més adequada per a les turbines *Bornay 6kW* seleccionades per dur a terme la instal·lació minieòlica a l'escola *Liceo Egara*. La següent imatge mostra les localitzacions aproximades dels artefactes sobre l'edifici esmentat.



**Figura 32.** Proposta d'ubicació final del sistema minieòlic [31]

## 8. Sistema Elèctric

Establert el model d'aerogenerador emprat en el present projecte i la ubicació de la instal·lació eòlica, és necessari determinar els components restants del sistema elèctric així com la unió entre ells.

En el següent bloc es presenta una breu introducció, la qual estableix els diferents tipus d'instal·lacions elèctriques de la minieòlica. Seguidament es proposa l'opció més adequada i òptima en referència al sistema elèctric a aplicar sobre la instal·lació minieòlica situada al centre educatiu *Liceo Egara*.

La decisió final inclou el disseny esquematitzat de tot el sistema minieòlic així com els components finals que el conformen.

Amb la finalitat d'ampliar la informació presentada en el present bloc es realitza "*l'Annex IX del Document 4 – Annexos*".

### 8.1. Tipus d'Instal·lacions Elèctriques de la Minieòlica

*Existeixen dos tipus d'instal·lacions generals destinades a l'aprofitament de l'energia elèctrica generada a partir del mini-aerogenerador o aerogenerador de baixa potència: les instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica (o instal·lacions off-grid) i les instal·lacions connectades a la xarxa elèctrica (instal·lacions on-grid).*

*En el cas que existeixi una xarxa elèctrica pròxima a l'emplaçament de la instal·lació i si la legislació del sector ho permet, existeix l'oportunitat de subministrar energia a la xarxa. D'aquesta manera, si el sistema produeix un excés d'energia, l'excedent és entregat a la xarxa elèctrica, i si per contra, es produeix menys energia de la necessària, l'electricitat restant es pot obtenir directament de la xarxa. [23]*

En el cas que ocupa el present projecte, donat que l'escola *Liceo Egara* s'ubica en un entorn urbà, l'accés a la xarxa elèctrica s'assoleix de forma senzilla i directa. Addicionalment, la legislatura permet aquest tipus de pràctica, en tant que es compleixen els requisits definits en les ordenances municipals i les normatives relatives a aquest sector.

Conseqüentment, el tipus d'instal·lació escollida i emprada en el projecte és la instal·lació connectada a la xarxa elèctrica.



## 8.2. Estudi d'Alternatives sobre el Sistema Elèctric

S'estableixen dues possibles opcions a implantar en relació amb el sistema elèctric present en la instal·lació eòlica situada al centre educatiu *Liceo Egara*. La diferència principal de les quals recau sobre la incorporació o no d'un sistema d'emmagatzematge (banc de bateries).

Els apartats redactats a continuació defineixen ambdues alternatives. Posteriorment es realitza l'anàlisi pertinent sobre cadascuna de les opcions i finalment es determina la solució més adequada i viable.

### 8.2.1. Alternativa d'emmagatzematge: Implementació d'un sistema de bateries

Actualment, en el mercat existeixen diversos tipus de bateries disponibles, cadascuna de les quals posseeix unes propietats diferents en quant a vida útil, profunditat de càrrega, capacitat, nombre de cicles de càrrega, cost, pes, manteniment i seguretat, entre altres.

Reduint el focus d'estudi al sector energètic eòlic de baixa potència, l'oferta de bateries es simplifica principalment en quatre tipus.

- ✓ Bateries de plom-àcid, també anomenades acumuladors de plom
- ✓ Bateries de ió-liti
- ✓ Bateries de gel
- ✓ Bateries redox de vanadi

Les bateries més aptes i recurrents en la minieòlica són les bateries amb base plom i àcid, a causa de la bona relació preu per energia disponible que presenten. No obstant, altres tipus de bateries com les de ió de liti (*Li-Ion*) estan en desenvolupament i la substitució dels acumuladors de plom per aquestes noves bateries és cada cop més comú. Amb la finalitat d'ampliar la informació sobre els tipus de bateries emprades en la minieòlica i determinar els seus avantatges i inconvenients és redactat "*l'apartat 2.6.1. de l'Annex IX pertanyent al Document 4 – Annexos*", al qual es pot accedir en aquest mateix treball.

La implementació d'un sistema de bateries es realitza principalment en instal·lacions aïllades o en situacions on la producció i la demanda no coincideixen en el temps.

Amb la finalitat d'analitzar adequadament l'alternativa d'emmagatzematge es calcula la capacitat de càrrega que ha de posseir el sistema de bateries per garantir el correcte funcionament del sistema minieòlic.

S'estableix que el sistema d'emmagatzematge ha de ser capaç d'operar al ritme de les turbines eòliques escollides en el present projecte. No obstant, en aquest cas es considera un percentatge de pèrdues menor, el qual s'estableix en un 2%, ja que les pèrdues per no aprofitament energètic relatives als períodes tarifaris quedarien anul·lades pel sistema d'emmagatzematge i únicament es contemplen aquelles pèrdues causades per la variabilitat del vent i les possibles fallades del sistema minieòlic. Recuperant el valor de generació energètica anual dels aerogeneradors *Bornay 6kW* i aplicant el 2% de pèrdues comentat anteriorment, s'estableix un valor de 18.935 kWh/any) i tenint en compte un voltatge d'operació especificat pel fabricant de 48 V, s'efectua el càlcul següent.

$$18.935 \text{ kWh/any} \cdot \frac{1 \text{ any}}{365 \text{ dies}} = 51,88 \text{ kWh/dia} = 51.878 \text{ Wh/dia} = 1.080 \text{ Ah}$$

Conseqüentment, el model de bateries escollit ha d'operar a un voltatge de 48 V i tenir una capacitat de càrrega que cobreixi els 1.080 Ah establerts anteriorment. Amb la finalitat de determinar el cost addicional que el sistema de bateries suposa per a la instal·lació minieòlica es realitza una cerca de mercat.

Finalment es considera l'adquisició dels models mostrats en la taula següent.

Model	Unitats	Capacitat de Càrrega (Ah)	Preu (€/unitat)
Bateria 48V 260Ah <i>Formula Star</i>	1	780	1.485,88
Bateria 48V 200Ah <i>Formula Star</i>	1	200	1.179,33
Bateria 48V 100Ah <i>Formula Star</i>	1	105	566,10
<b>TOTAL</b>		<b>1.085</b>	<b>3.231,31</b>

*Taula 30. Característiques i especificacions dels models de bateries proposats [24]*

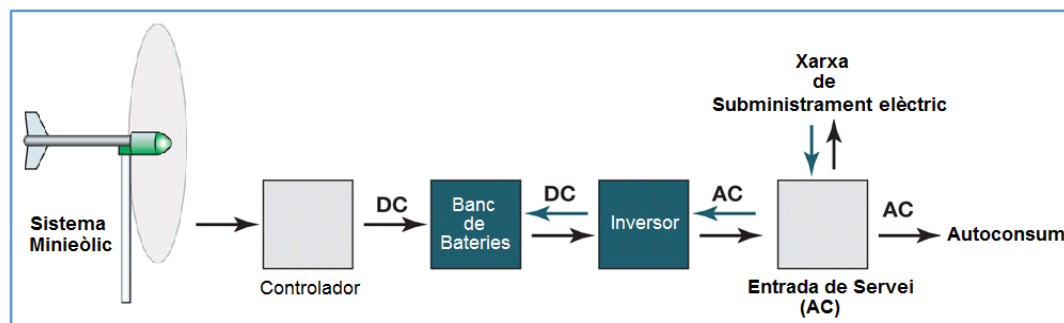
Els models *Formula Star* consisteixen en un conjunt de quatre bateries de plom-àcid interconnectades entre sí que actuen com un sistema a 48V. Són fàcilment transportables donat que es presenten compactades en un sol bloc i són obertes a manteniment. Accedint a "l'apartat 2 de l'Annex VIII en el Document 4 – Annexos" es poden consultar les especificacions del model de bateria *Formula Star*.

La inclusió d'aquest sistema d'emmagatzematge en la instal·lació eòlica suposaria un augment en la inversió inicial de **3.231** euros. Addicionalment, és necessari considerar el fet que la vida útil de les bateries és considerablement menor al del sistema minieòlic. Per una altra part, els costos relatius al cablejat es planteja com a menyspreable en tant que, la diferència de cablejat d'ambdues alternatives de sistema elèctric és irrellevant.

Incidint sobre els resultats obtinguts es determina que el gran inconvenient d'aquest sistema d'emmagatzematge es focalitza sobre la tecnologia actual presentada per les bateries, elements d'alt cost econòmic (com es pot observar a la taula anterior) amb vides útils reduïdes. Addicionalment, la incorporació de

bateries al sistema minieòlic requereix la disponibilitat d'un espai adaptat, destinat al recolliment d'aquestes, conjuntament amb els elements de seguretat pertinents necessaris. Tenint en compte l'alta capacitat d'emmagatzematge requerida a causa de l'ordre de magnitud de potència generada, les dimensions del sistema de bateries és considerable. Una possible solució a aquest problema d'espai seria reduir el requeriment de capacitat de càrrega, acceptant possibles pèrdues del sistema per retorn d'energia generada a la xarxa elèctrica.

La imatge següent mostra de manera esquematitzada el sistema elèctric relatiu a l'alternativa d'emmagatzematge. És necessari clarificar que la present alternativa també presenta connexió directa a la xarxa per tal d'evitar fallades totals en el sistema.



*Figura 33. Esquema de l'alternativa de sistema elèctric d'emmagatzematge*

### 8.2.2. Alternativa de Connexió Directa a la Xarxa Elèctrica

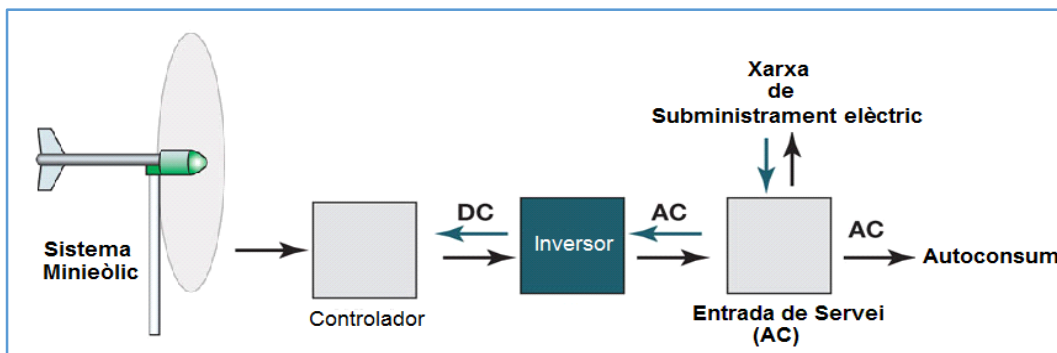
La connexió del sistema minieòlic directament a la xarxa elèctrica no requereix de cap component addicional, la qual cosa es tradueix en una inversió inicial econòmica menor en tant que, no existeix cap cost afegit.

A diferència de l'alternativa d'emmagatzematge, la connexió directa a la xarxa no permet l'aprofitament total de l'energia generada per les turbines minieòliques. Conseqüentment, s'estableix un percentatge de pèrdues considerable, relatiu al retorn elèctric a la xarxa de l'energia no aprofitada.

No obstant, el percentatge de pèrdues per retorn a la xarxa, calculat en apartats previs, s'ha considerat des d'un punt de vista bastant conservador, plantejant els escenaris més desfavorables. Això implica que aquestes pèrdues només es donaran en casos concrets on la demanda energètica és menor que la generació elèctrica de les turbines.

La imatge següent mostra de manera esquematitzada el sistema elèctric relatiu a l'alternativa de connexió directa a la xarxa elèctrica. La única diferència en

comparació a l'alternativa d'emmagatzematge és la supressió del banc de bateries.



**Figura 34.** Esquema de l'alternativa de sistema elèctric connectat directament a la xarxa

### 8.3. Decisió Final sobre el Sistema Elèctric

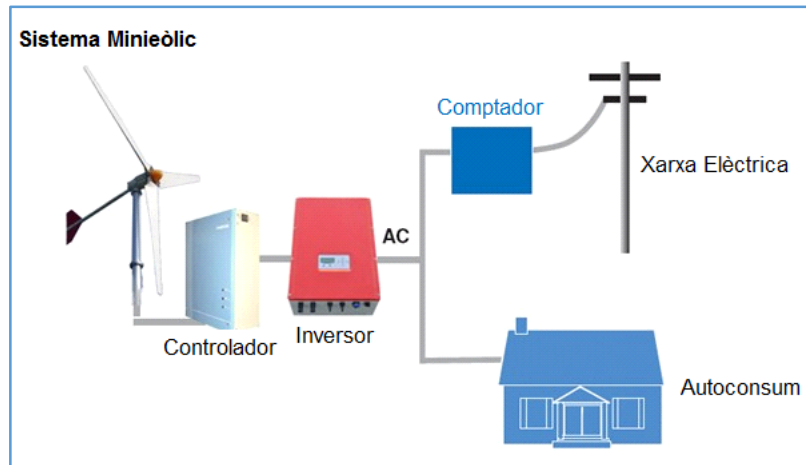
Amb la finalitat d'establir el sistema elèctric final a implementar en el present projecte es recull en un quadre tota la informació emesa sobre les alternatives valorades.

Alternativa d'Emmagatzematge (Banc de Bateria)	
Avantatges	Inconvenients
Major aprofitament energètic.	Necessitat d'incloure components complementaris a les bateries, així com elements de seguretat addicionals imprescindibles.
	Elevat manteniment.
	Necessitat d'un espai físic destinat a l'allotjament del sistema de bateries i tots els components addicionals i de seguretat que aquestes precisen.
	Augment del pes de la instal·lació minieòlica.
	Vida útil de les bateries relativament curta.
	Repercussió econòmica elevada.
Alternativa de Connexió Directa a la Xarxa Elèctrica	
Avantatges	Inconvenients
Menor inversió inicial. La qual cosa augmenta la viabilitat econòmica del projecte.	Existència d'un percentatge de pèrdues relativament elevat per retorn a la xarxa elèctrica. En conseqüència desapropietament de l'energia generada per la instal·lació eòlica.
Sistema més simple. Fet que es tradueix en un muntatge i un manteniment més senzills.	
Aprofitament de l'espai.	
Sistema eòlic de major sostenibilitat ambiental.	

**Taula 31.** Quadre resum dels inconvenients i avantatges de les alternatives de sistema elèctric proposades

Realitzat l'anàlisi d'alternatives i considerant els avantatges i inconvenients derivats de cada opció, es conclou que la solució més adequada per al cas específic del centre educatiu *Liceo Egara* és la implementació d'un sistema elèctric connectat directament a la xarxa de subministrament elèctric.

L'esquema del sistema elèctric final s'estableix de la manera següent.



**Figura 35.** Esquema del sistema elèctric final aplicat a la instal·lació minieòlica

El controlador és inclòs pel fabricant en els mateixos mini-aerogeneradors per tant, no és necessari un espai addicional per la seva col·locació. Per una altra part, els inversors se situen en la “Sala Dipòsit”, considerada la millor opció per a la col·locació d'aquests donat que es tracta d'un espai no freqüentat pel personal de l'escola, proper a les turbines i al comptador i amb unes dimensions suficients. En conseqüència, s'assegura la seguretat dels usuaris i es disminueixen els costos invertits en cablejat.



**Figura 36.** Especificació de la localització de la Sala Dipòsit i els Comptadors [31]

El model d'inversor emprat és l'Aecon 9,9 kWp 380v 50 Hz III, recomanat i subministrat per la mateixa empresa fabricant de l'aerogenerador, Bornay. Les especificacions de l'esmentat element es troben a “l'Annex XII del Document 4 – Annexos”.

## 9. Muntatge, Operació i Manteniment

La informació relativa al muntatge, operació i manteniment de la instal·lació minieòlica situada al centre educatiu *Liceo Egara* és realitzada per la mateixa empresa subministradora de les turbines eòliques, *Bornay*.

El procediment a seguir en cadascuna de les etapes mencionades anteriorment queda redactat de manera detallada en el "*Document 5 – Plec de Condicions Tècniques*".

És especialment important realitzar l'etapa de manteniment de manera adequada, en tant que aquesta activitat pot allargar la vida útil del sistema minieòlic. Conseqüentment, el present document, referent a la "*Memòria*" del treball, conté un breu apartat que resumeix els conceptes més importants sobre el manteniment de les turbines *Bornay 6kW*.

### 9.1. Manteniment

En el cas particular de l'aerogenerador de baixa potència *Bornay 6kW* escollit per ser instal·lat en el centre educatiu *Liceo Egara*, es determinen les següents actuacions relatives al manteniment.

- ✓ **Després de la seva instal·lació.** Transcorregut un mes des de la instal·lació de l'aerogenerador, es recomana, tornar a estrènyer tots els cargols de l'artefacte.
- ✓ **Cada sis mesos.** A ser possible en els canvis d'estació, es recomana realitzar una inspecció de manteniment en la qual s'han de revisar els punts següents.
  - Revisar i tornar a estrènyer tots els cargols.
  - Comprovar l'estat del cablejat.
  - Realitzar una inspecció visual de les hèlix.
  - Revisar els sistema de frenada automàtic mitjançant l'accionament manual d'aquest.

Les parts principals de l'aerogenerador a ser sotmeses a inspeccions de manteniment són reunides en la taula mostrada a continuació.

<b>Rodaments</b>	No necessiten manteniment. Opcionalment es pot comprovar el seu gir per detectar algun tipus de fregament o vibració.
<b>Cargols</b>	Davant la falta de qualsevol cargol en una revisió de manteniment, substituir-lo immediatament abans de que pugin donar-se majors danys.
<b>Cablejat</b>	Comprovar l'estat de les unions i entroncaments, així com les regletes de connexions. S'evitaran així possibles desconexions i fallades de la turbina.
<b>Hèlix</b>	Davant la falta total o parcial de la cinta protectora de poliuretà situada en la vora d'atac de les hèlix, cal acudir a l'instal·lador i reemplaçar la cinta.
<b>Amortidor</b>	L'amortidor presenta una petita folgança al principi del seu retrocés. Si aquesta folgança és major a la meitat del recorregut i s'observen pèrdues d'oli, és necessari substituir els amortidors per un de nous.
<b>Greixatge</b>	L'aerogenerador <i>Bornay</i> consta de tres parts mòbils les quals estan proveïdes d'un greixatge de per vida, per tant no es requereix d'aquesta acció en el manteniment de l'artefacte.

**Taula 32.** Resum dels elements sotmesos a revisió que formen el model d'aerogenerador *Bornay 6kW*. Annex XIII

La informació presentada en aquest bloc es veu ampliada en “l'Annex XIII del Document 4 – Annexos”, el qual presenta el “Manual d'Usuari de l'aerogenerador *Bornay 6kW*”, revisió obtinguda mitjançant la web de l'empresa.

Adicionalment, com s'ha exposat anteriorment, es proporciona el “Document 5 – Plec de Condicions” amb tota la informació relativa al muntatge, operació i manteniment de la instal·lació.



## 10. Marc Legislatiu

El present bloc anomena la principal normativa europea i nacional actualitzada que afecta al sector de les energies renovables, concretament incidint sobre l'energia eòlica, objecte del present projecte.

### 10.1. Resum de la Legislació i Normativa Vigents

Directives Europees sobre Energies Renovables	
Legislació	Objectiu
Directiva 2009/28/CE del Parlament Europeu i del Consell de 23 d'abril de 2009.	Fomentar el desenvolupament i ús de fonts d'energia renovables i estableix les directrius generals a seguir.
Normativa Espanyola (en vigor) sobre Energies Renovables (Energia Eòlica)	
Legislació	Objectiu
Real Decret 413/2014, de 6 de juny, pel qual es regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.	Establir els drets i obligacions de les instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, la cogeneració i residus i regula la seva participació en el mercat elèctric.
Ordre Ministerial IET/1045/2014, 16 de juny, per la qual s'aproven els paràmetres retributius de les instal·lacions tipus aplicables a determinades instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.	-
Llei 24/2013, de 26 de desembre, del Sector Elèctric.	Establir un procediment de competència competitiva per l'establiment d'un règim retributiu específic pel foment de la producció d'energia a partir de fonts renovables.
Real Decret-Llei 9/2013, de 12 de juliol, pel qual s'adopten mesures urgents per garantir l'estabilitat financera del sistema elèctric.	Aprova un nou règim jurídic i econòmic per les instal·lacions de producció d'energia elèctrica existents a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.
Real Decret-Llei 1/2012, de 27 de gener, pel qual es procedeix a la suspensió dels procediments de preassignació de retribució i a la suspensió dels incentius econòmics per a noves instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de cogeneració, fonts d'energia renovables i residus.	-
Llei 2/2011, de 4 de març, d'Economia Sostenible.	Inclou sota els seus principis rectors la promoció de les energies netes, reducció d'emissions i reducció de residus, així com l'estalvi i la eficiència energètica.
Normativa Espanyola (en vigor) sobre Energies Minieòlica	
Legislació	Objectiu
Plan de acción nacional de energías renovables (PANER) 2011-2020	Establir les directrius bàsiques a seguir fins el 2020 en el conjunt del sector de les energies renovables i individualment per a cada tecnologia, definint objectius de potència i energia produïda, encara que no estableix retribucions específiques per a la minieòlica.
Real Decret 661/2007, 25 de maig (última actualització, publicada el 13/07/2013, en vigor a partir del 14/07/2013)	Regular l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.
IEC 61400-2. Normativa de disseny, petits aerogeneradors	Determinar els requisits, controls, mesures, entre altres, necessaris per a la fabricació, la instal·lació i el manteniment d'aerogeneradors de petites dimensions.
Real Decret 842/2002, de 2 d'agost, reglament electrotècnic per a baixa tensió i ITC complementàries	Establir les condicions tècniques i les garanties que han de reunir les instal·lacions elèctriques connectades a una font de subministrament en els límits de baixa tensió.
Real Decret 314/2006, 17 de març, pel qual s'aprova el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE)	Establir les exigències que hauran de complir els edificis en relació amb els requisits bàsics de seguretat i d'habitabilitat establerts en la Llei d'Ordenació de l'Edificació del CTE.
Real Decreto 1699/2011 de regulació de la connexió a la xarxa d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència.	Regular les condicions administratives i tècniques per a la connexió de les instal·lacions de petita potència.
Real Decreto 900/2015, de 9 d'octubre, pel qual es regulen les condicions administratives, tècniques i econòmiques de les modalitats de subministrament d'energia elèctrica amb autoconsum i producció amb autoconsum.	-
Normativa Aplicable a Catalunya	
Legislació	Objectiu
Decret 147/2009.	Procediments administratius per a la implantació de parcs eòlics i instal·lacions fotovoltaïques. Article 6 "petites instal·lacions eòliques".

*Taula 33. Resum de la legislació vigent relacionada amb el sector energètic de la minieòlica.*  
Annex X



El quadre superior resumeix la legislació i normativa vigent referent al sector de l'energia renovable en termes generals i el sector de la minieòlica en termes concrets.

De manera més detallada es presenten les principals característiques de la normativa relativa a les instal·lacions d'autoconsum energètic recollides en el **Real Decret 900/2015**, considerada la legislació més rellevant tenint en compte el projecte desenvolupat. L'esmentat decret estableix dos tipus d'autoconsum.

- ✓ **Tipus 1.** Consumidor en un únic punt de subministrament o instal·lació, que disposi en la seva xarxa interior d'una o diverses instal·lacions de generació d'energia elèctrica, destinades al consum propi i que no estiguin donades d'alta en el corresponent registre com a instal·lació de producció.
- ✓ **Tipus 2.** Consumidor d'energia elèctrica en un punt de subministrament o instal·lació, que estigui associat a una o diverses instal·lacions de producció degudament inscrites en el registre administratiu d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica connectades a l'interior de la xarxa o que comparteixin infraestructura de connexió amb aquest o bé que estiguin connectats a través d'una línia directa. [25]

Conceptes	Tipus 1	Tipus 2
Potència de la instal·lació major a la potència contractada	No	No
Límit màxim de potència	100 kW	No
RAIPRE	No	Si
Mateix titular de generació i consum	Si	No (però només 1 a 1)
Subjectes del sistema	Consumidor	Consumidor i Productor
Retribució per energia excedentària	No	Si
Peatge de generació	No	Si
Impost de generació	No	Si

*Taula 34. Modalitats de subministrament elèctric segons el tipus d'autoconsum [25]*

Conceptes	Tipus 1	Tipus 2	Tipus 2 (*)
Equip de mesura bidireccional que mesura l'energia neta generada	-	Si	Si
Equip de mesura que registra l'energia consumida total pel consumidor associat	Opcional	Si	Opcional
Equip de mesura bidireccional ubicat en el punt frontera de la instal·lació	-	Opcional	Si
Equip de mesura que registra l'energia neta generada de la instal·lació de generació	Si	-	-
Equip de mesura independent en el punt frontera de la instal·lació	Si	-	-

*Taula 35. Disposició dels equips de mesura en funció del tipus d'autoconsum [25]*

Tota la informació presentada en aquest bloc ha sigut extreta de “l’*Annex X del Document 4 – Annexos*”. Accedint a aquest document es pot consultar de manera més detallada el marc legislatiu establert al voltant del projecte.

## 11. Marc Mediambiental

El present bloc proporciona una avaluació mediambiental del projecte, a petita escala.

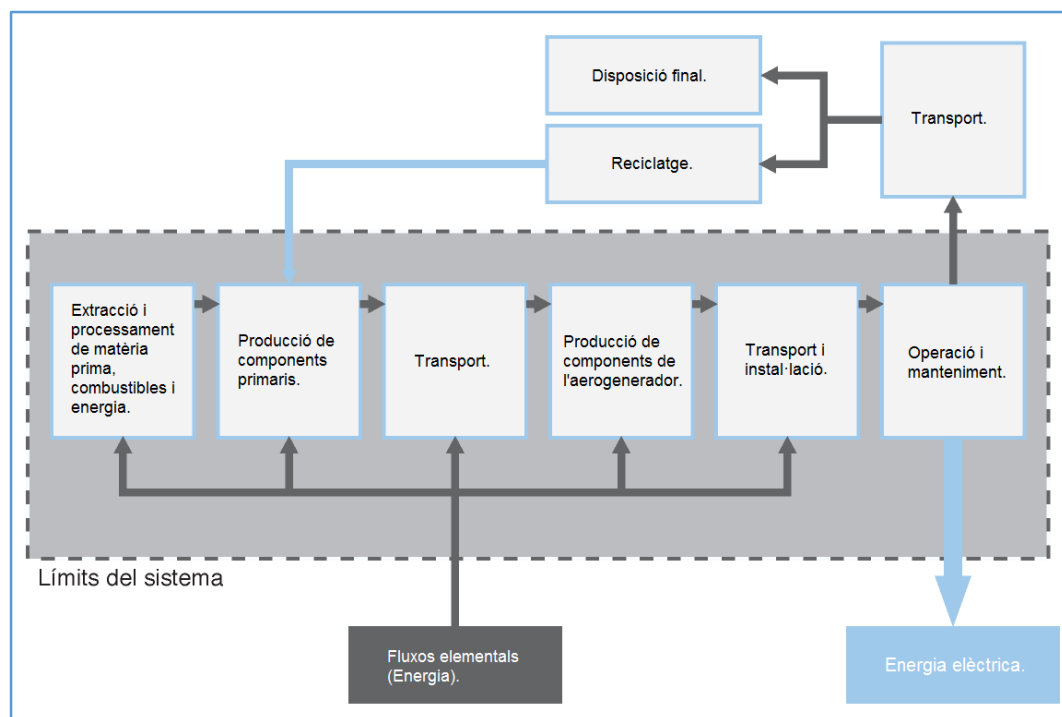
Es divideix el marc mediambiental en dos estudis principals. Primerament, es realitza un anàlisi del cicle de vida del sistema minieòlic implantat a l'escola *Liceo Egara*. Posteriorment, s'avalua el seu funcionament al llarg de la seva vida útil en termes ecològics, mitjançant el desenvolupament d'un balanç ambiental.

### 11.1. Anàlisi del Cicle de Vida

La metodologia utilitzada per avaluar la sostenibilitat ambiental de les turbines minieòliques emprades en el present projecte és l'Anàlisi de Cicle de Vida (ACV).

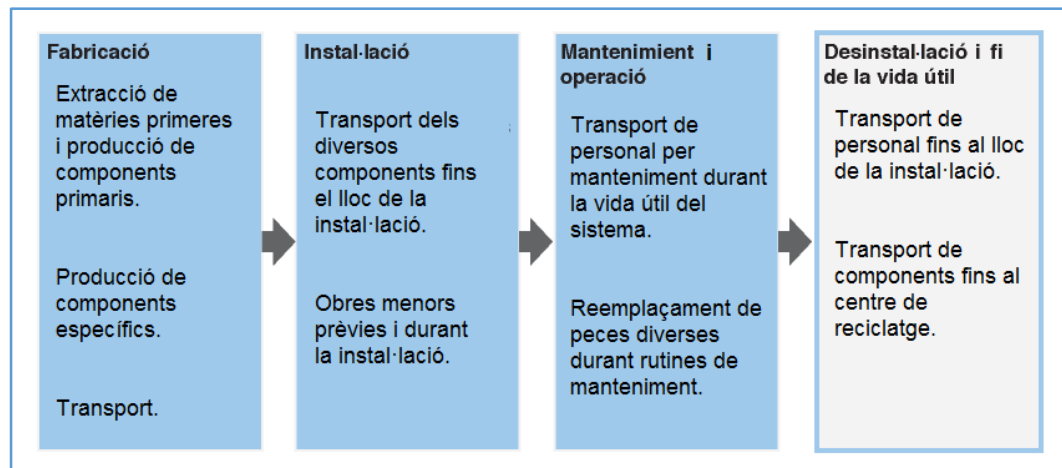
Aquesta eina d'estudi permet avaluar de manera més detallada i específica els processos unitaris i les etapes formants del cicle de vida del sistema, abastant aspectes inclosos des de la fabricació dels materials que componen la màquina fins el final de la seva vida útil, amb algunes restriccions degudes al caràcter introductori de l'estudi i els recursos disponibles per realitzar-lo.

La imatge mostrada a continuació resumeix de manera esquematitzada el cicle de vida d'una turbina minieòlica, tenint en compte un abast de tipus “bressol a tomba”.



**Figura 37.** Esquema de l'anàlisi del cicle de vida d'un mini-aerogenerador tenint en compte l'abast "bressol a tomba" [41]

Per una altra part, es defineixen les etapes presents durant el cicle de vida del sistema. En el cas de l'energia de baixa potència, les primeres tres etapes abasten conceptes similars als de la gran eòlica, portats a escala menor. No obstant, en l'etapa de desinstal·lació, els conceptes, accions i recursos contemplats són considerablement diferents entre l'eòlica de baixa potència i alta potència. Això es deu principalment al fet de que les empreses no compten amb programes de recuperació o tractament final dels artefactes. És per aquest motiu, que generalment el desmantellament de la instal·lació queda freqüentment sota la responsabilitat de l'usuari.



*Figura 38. Etapes presents en el cicle de vida d'una turbina minieòlica [41]*

En els casos analitzats en apartats posteriors es considera un desmantellament vinculat a les instal·lacions d'alta potència.

#### 11.1.1. Inventari de Materials

No es disposa de les dades necessàries relatives a l'inventari de la turbina minieòlica *Bornay 6kW*, utilitzada en el present projecte. Per aquest motiu, es decideix recórrer a l'Anàlisi de Cicle de Vida realitzat per un expert en la seva tesi sobre un aerogenerador de baixa potència, concretament sobre el model *IVS 4500*.

En conseqüència, la informació continguda en el present apartat, relativa a l'inventari de materials, pertany a l'aerogenerador *IVS 4500*. Tanmateix, les dades mostrades es poden atribuir al model *Bornay 6kW* en tant que ambdós models representen aerogeneradors de baixa potència i presenten característiques similars.

La taula definida a continuació presenta de forma agrupada els pesos dels materials utilitzats per la producció de l'aerogenerador i els elements complementaris de la instal·lació. Es troba inclosa l'estimació de la totalitat del material consumit al llarg de la vida útil del sistema, tenint en compte els materials per dur a terme el manteniment i el recanvi de peces.

Component	Pes (kg)
Generador	62
Peça de Suport	28
Electrònica	27
Manteniment	18
Altres Inputs	18
Orientació i Control	17
Rotor Eòlic	16
Sistema Elèctric	2
<b>Total</b>	<b>188</b>

*Taula 36. Components del sistema minieòlic emprat en l'anàlisi d'inventari d'una turbina minieòlica [41]*

És important clarificar que l'estudi original, referent a l'aerogenerador *IVS 4500* inclou la torre. Tanmateix, es decideix suprimir-la de l'anàlisi ja que, en el cas que ocupa el present projecte, l'opció final no inclou aquest element sinó que aposta per la col·locació de la turbina directament al sostre de l'edifici mitjançant una estructura metàl·lica (consultar apartat "7.1. Aspectes Energètics" per a més informació).

Els quadres següents determinen els materials que foment cadascun dels components definits anteriorment, especificant el pes d'aquests.

Altres Inputs i Manteniment	
Material	Pes (kg)
Resines i Compostos Epoxi	13,44
Materials de Ferro i Acer (sense classificar)	10,6
Fibra de Vidre i PRFV	3,42
Resines i Compostos Polièster	3,16
Escuma de Poliuretà	0,72
Vernissos, Laques i similars	0,43
Altres	0,39
Altres Metalls (Plom, Níquel, etc.)	0,05
<b>Total</b>	<b>32,21</b>

*Taula 37. Inventari de materials implicats en el model de turbina minieòlica IVS 4500 (I) [41]*

Rotor Eòlic	
Material	Pes (kg)
Acers al Carboni	7,78
Fibra de Vidre i PRFV	3,77
Resines i Compostos de polièster	3,16
Escuma de poliuretà	0,72
Altres	0,39
Altres metalls (Plom, Níquel, etc.)	0,05
<b>Total</b>	<b>15,87</b>
Generador	
Material	Pes (kg)
Fosa de Ferro	19,43
Materials de Ferro i Acer (sense classificar)	18,97
Imants	9,23
Coure i Aliatges de coure	6,50
Acers de mitjà aliatge i aliatges	4,73
Acers al Carboni	2,43
Vernissos, laques i similars	0,90
Plàstics (PVC, policarbonat, etc.)	0,20
Fibra de Vidre i PRFV	0,06
<b>Total</b>	<b>62,45</b>
Peça de Suport	
Material	Pes (kg)
Acers al Carboni	19,70
Acers de mitjà aliatge i aliatges	5,93
Coure i Aliatges de coure	1,80
Materials de Ferro i Acer (sense classificar)	0,08
<b>Total</b>	<b>27,51</b>
Orientació i Control	
Material	Pes (kg)
Acers al Carboni	7,69
Acer Inoxidable	4,66
Materials de Ferro i Acer (sense classificar)	2,00
Plàstics (PVC, policarbonat, etc.)	1,28
Altres	0,70
Olis, Lubricants, etc.	0,30
Coure i Aliatges de Coure	0,18
Acers de mitjà aliatge i aliatges	0,11
<b>Total</b>	<b>16,92</b>

Taula 38. Inventari de materials implicats en el model de turbina minieòlica IVS 4500 (II) [41]

Sistema Elèctric	
Material	Pes (kg)
Coure i Aliatges de Coure	2,5
Plàstics (PVC, policarbonat, etc.)	1,93
Fibra de Vidre i PRFV	0,37
Altres	0,19
Materials de Ferro i Acer (sense classificar)	0,18
Acers de mitjà aliatge i aliatges	0,17
Acers al Carboni	0,09
Resines i Compostos Epoxi	0,02
<b>Total</b>	<b>5,45</b>
Electrònica	
Material	Pes (kg)
Materials de Ferro i Acer (sense classificar)	16,61
Compostos Ceràmics	3,13
Alumini i Aliatges d'Alumini	2,88
Plàstics (PVC, policarbonat, etc.)	2,74
Coure i Aliatges de Coure	0,94
Altres Metalls (Plom, Níquel, etc.)	0,60
Altres	0,10
<b>Total</b>	<b>27,00</b>

**Taula 39.** Inventari de materials implicats en el model de turbina minieòlica IVS 4500 (III) [41]

### 11.1.2. Inventari de Processos

Els processos contemplats dintre d'aquest estudi es divideixen en dos grups.

El primer grup consisteix en les activitats dutes a terme en la fàbrica *INVAP Enginyeria S.A.* subministradora del model *IVS 4500*. Mentre que el segon grup inclou aquells processos realitzats per les denominades indústries pesades.

Per una altra part, els processos es classifiquen en dos tipus: primaris i secundaris. Els apartats següents presenten de manera resumida aquest concepte.

#### 11.1.2.1. Processos Primaris

Els processos primaris es defineixen com aquelles activitats destinades a la transformació de minerals, hidrocarburs i altres matèries primeres en metalls, plàstics, etc. Els processos considerats en aquest estudi s'estableixen a continuació.

- ✓ Producció d'acer i ferro
- ✓ Producció d'altres metalls

- ✓ Producció de fibra de vidre
- ✓ Producció de plàstics
- ✓ Producció d'altres materials
- ✓ Producció de combustibles
- ✓ Combustió d'hidrocarburs
- ✓ Transport

#### 11.1.2.2. *Processos Secundaris o dintre de l'abast de INVAP Enginyeria S.A.*

La següent taula mostra una recopilació de la informació sobre la maquinària i els processos emprats en la producció del model *IVS 4500*, cerca realitzada internament a l'empresa involucrada en l'estudi.

Màquina	Funció	Potència (kW)	Temps d'Ús (hores)
Forn elèctric	Alleujament de tensions de soldadures	5,5	3,0
Trepant de banc	Foradament	1,5	5,5
Soldadora tipus MIG	Soldadures	9,7	28,5
Soldadora per arc i elèctrode revestit	Soldadures	25,2	7,2
Torn paral·lel	Producció de peces	7,6	26,0
Torn paral·lel	Producció de peces	4,1	12,5
Fresadora	Producció de peces	1,1	3,0
Trepant de mà	Foradament	0,8	2,1
Tall làser	Tall de plaques de metall	4,0	1,8
Mola de mà	Tall de plaques de metall	2,0	10,9
Soldadora elèctrica	Soldadura de circuits elèctrics	0,2	2,0
Ensorradora amb compressor	Polit de parts de metall	4,0	10,0

**Taula 40.** *Maquinària i processos emprats en la producció del model de mini-aerogenerador IVS 4500 [41]*

## 11.2. Anàlisi de Sensibilitat

Un dels factors clau present en la determinació de l'impacte ambiental d'una turbina eòlica és la quantitat d'energia generada d'aquesta. Aquesta generació energètica és determinada pel factor de càrrega i la vida útil de la turbina.

En els següents subapartats s'analitza la influència d'aquests dos paràmetres en la sostenibilitat ambiental derivada de la turbina de 6kW.



### 11.2.1. Factor de Càrrega

El factor de càrrega és un paràmetre adimensional vinculat a l'anàlisi de la demanda d'un sistema elèctric. Es defineix com la relació existent entre l'energia real de sortida d'una turbina eòlica amb la seva capacitat nominal.

Els següents paràgrafs mostren el càlcul de diferents impactes ambientals mitjançant el factor de càrrega de la instal·lació formada pels aerogeneradors *Bornay 6kW*.

Primerament és imprescindible determinar els impactes ambientals a analitzar. Aquests es presenten de manera resumida en el quadre següent.

Tipus d'Impacte	Descripció	
<b>ADP Elements</b>	Abiotic resource depletion of elements	Esgotament de recursos abiòtics dels elements
<b>ADP Fossil</b>	Abiotic resource depletion of fossil fuels	Esgotament de recursos abiòtics dels combustibles fòssils
<b>AP</b>	Acidification potential	Potencial d'acidificació
<b>EP</b>	Eutrophication potential	Potencial d'eutrofització
<b>FAETP</b>	Fresh-water aquatic eco-toxicity potential	Potencial d'eco-toxicitat aquàtica en aigua dolça
<b>GWP</b>	Global warming potential	Potencial d'escalfament global
<b>HTP</b>	Human toxicity potential	Potencial de toxicitat en humans
<b>MAETP</b>	Marine aquatic eco-toxicity potential	Potencial d'eco-toxicitat aquàtica en aigua marina
<b>ODP</b>	Ozone depletion potential	Potencial d'esgotament de l'ozó
<b>POCP</b>	Photochemical oxidant creation potential	Potencial de creació d'oxidants fotoquímics
<b>TETP</b>	Terrestrial eco-toxicity potential	Potencial d'eco-toxicitat terrestre

*Taula 41. Establiment dels diferents impactes ambientals tractats en el present estudi*

- ✓ **ADP (Elements i Combustible).** El 99% d'aquest impacte incorre sobre l'etapa de fabricació, i és degut a l'esgotament de molibdè utilitzat per a la producció d'acer. En quant a l'estimació de l'esgotament dels combustibles fòssils, es relaciona en un 85,5% amb el consum energètic utilitzat en la producció d'acer durant la fase de fabricació.
- ✓ **AP.** El major contribuïdor en aquest impacte són les emissions de SO<sub>2</sub> procedents de la generació d'energia destinada a la producció de coure i acer.
- ✓ **EP.** El 73% d'aquest valor resulta de la fabricació d'acer i en particular de les emissions de NO<sub>x</sub> relacionades amb l'energia emprada en la producció d'aquest.

- ✓ **FAETP.** Les emissions de cobalt, níquel i vanadi a l'aigua dolça, procedents de la fabricació d'acer, suposen un 99% de la contribució a aquest impacte.
- ✓ **GWP.** Aquest impacte es deu principalment en les emissions de CO<sub>2</sub> presents en la fabricació dels components de la turbina (particularment l'acer) i el muntatge d'aquesta.
- ✓ **HTP.** Les emissions de crom a l'atmosfera durant la fabricació de l'artefacte són el major contribuïdor (99,5%) d'aquest impacte.
- ✓ **MAETP.** El 97,5% del valor d'aquest impacte recau en les emissions de fluor d'hidrogen a l'atmosfera i de l'abocament en aigües de metalls pesants com el níquel i el cobalt durant la fabricació d'acer.
- ✓ **ODP.** Els principals contribuents en aquest impacte són les emissions dels halògens 1211 i 1311 durant el transport de les parts fixes (53,5%) i la producció de formigó, fibra de vidre i acer (35%).
- ✓ **POCP.** Les emissions de CO i SO<sub>2</sub> procedents de la producció d'acer contribueixen un 75% en aquest impacte, seguit dels compostos orgànics volàtils sense metà derivats del transport.
- ✓ **TETP.** Impacte causat en un 99,5% per les emissions de metalls pesants a l'atmosfera, predominantment el crom derivat de la producció d'acer.

Seguidament, s'estableix el rang de valors referents als factors de càrrega en relació amb la producció energètica anual de la turbina.

Factor de Càrrega (%)	Producció Energètica Anual (kWh/any)
14,8	7.800
18,3	9.600
19,0	10.000
21,7	11.400
24,0	12.600
27,4	14.400
30,8	16.200
34,2	18.000

*Taula 42. Rang de factors de càrrega en funció de la generació energètica anual [29]*

A partir d'aquests valors, es determina el factor de càrrega relatiu al model d'aerogenerador *Bornay 6kW*, considerant que la producció anual del sistema minieòlic format per dues turbines d'aquest model situades en el centre educatiu *Liceo Egara* és de 11.400 kWh anuals. Tal com es mostra a la taula superior, aquest valor és 21,7%.

Seguidament es presenten les equacions per a l'estimació de cada impacte ambiental segons el factor de càrrega de la turbina.

Impacte Ambiental	Equació
ADP Elements (mg Sb eq./kWh)	$ADP_{el.} = 92 \cdot FC^{-1,043}$
ADP Fossil (MJ/kWh)	$ADP_f. = 19,607 \cdot FC^{-1,043}$
AP (SO <sub>2</sub> eq./kWh)	$AP = 5,3398 \cdot FC^{-1,043}$
EP (g P <sub>04</sub> eq./kWh)	$EP = 1,083 \cdot FC^{-1,043}$
FAETP (g DCB eq./kWh)	$FAETP = 923,55 \cdot FC^{-1,043}$
GWP (kg CO <sub>2</sub> eq./kWh)	$GWP = 0,8224 \cdot FC^{-1,043}$
HTP (kg DCB eq./kWh)	$HTP = 4,096 \cdot FC^{-1,043}$
MAETP (t DCB eq./kWh)	$MAETP = 1,0814 \cdot FC^{-1,043}$
ODP (mg R11 eq./kWh)	$ODP = 4,54 \cdot FC^{-1,043}$
POCP (g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq./kWh)	$POCP = 0,7527 \cdot FC^{-1,043}$
TETP (g DCB eq./kWh)	$TETP = 126,17 \cdot FC^{-1,043}$

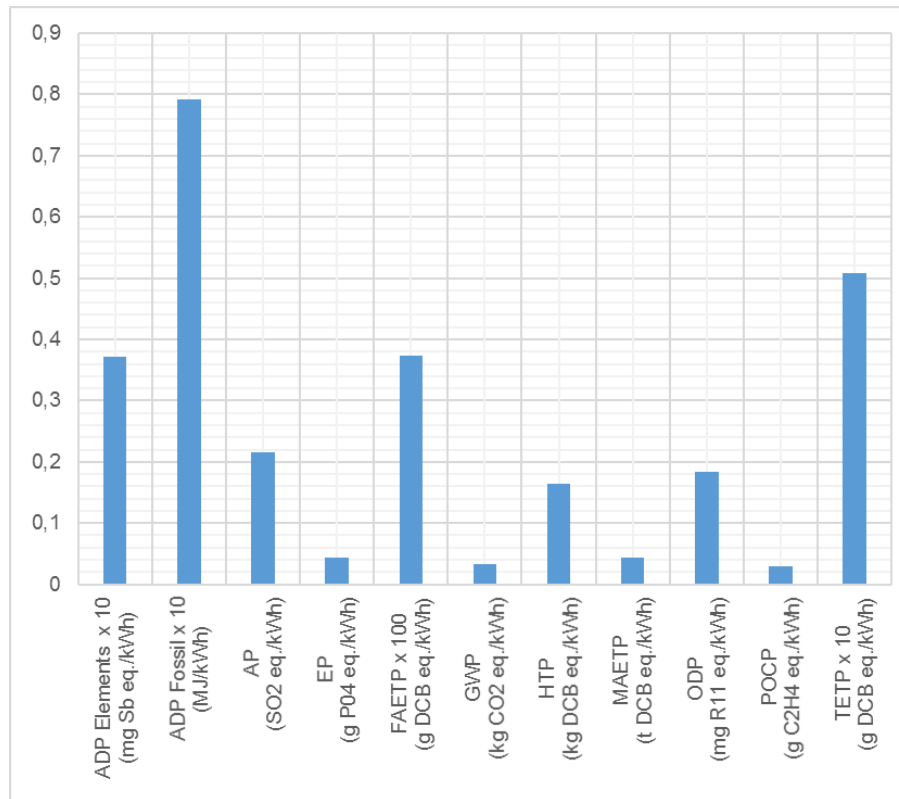
**Taula 43.** Equacions per a l'estimació de cada impacte ambiental, on FC és factor de càrrega [29]

Aplicant les equacions anteriors al cas particular de la instal·lació minieòlica localitzada al centre educatiu *Liceo Egara* els resultats obtinguts són els següents.

Factor de Càrrega de 21,7 %		
Impacte Ambiental	Valor	Unitats
ADP Elements x 10	0,371	mg Sb eq./kWh
ADP Fossil	0,792	MJ/kWh
AP	0,216	SO <sub>2</sub> eq./kWh
EP	0,044	g P <sub>04</sub> eq./kWh
FAETP x 100	0,373	g DCB eq./kWh
GWP	0,033	kg CO <sub>2</sub> eq./kWh
HTP	0,165	kg DCB eq./kWh
MAETP	0,044	t DCB eq./kWh
ODP	0,183	mg R11 eq./kWh
POCP	0,030	g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq./kWh
TETP x 10	0,509	g DCB eq./kWh

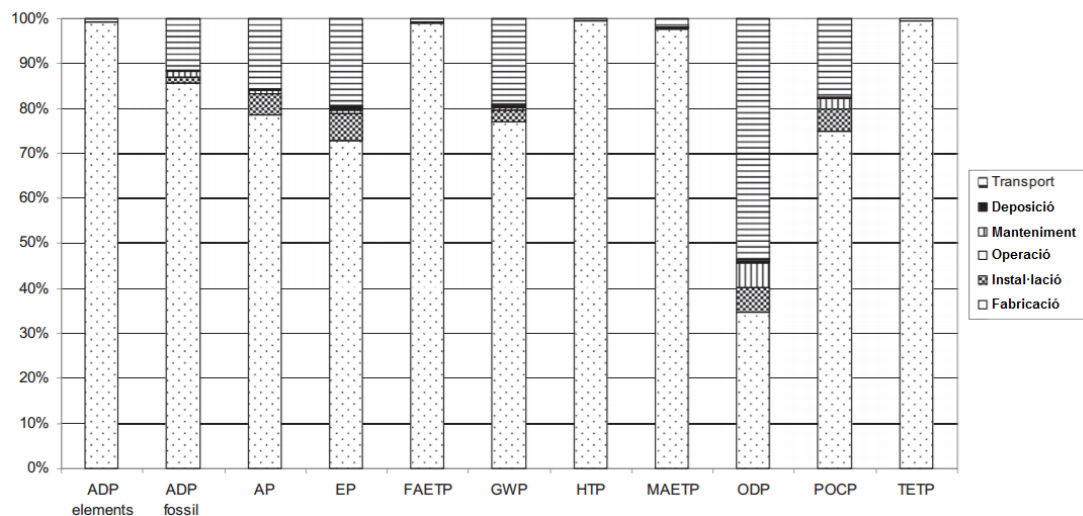
**Taula 44.** Càlcul dels diferents impactes ambientals considerats per un factor de càrrega del 21,7%

Amb l'objectiu de presentar els resultats anteriors de manera més visual i entenedora es realitza la gràfica següent.



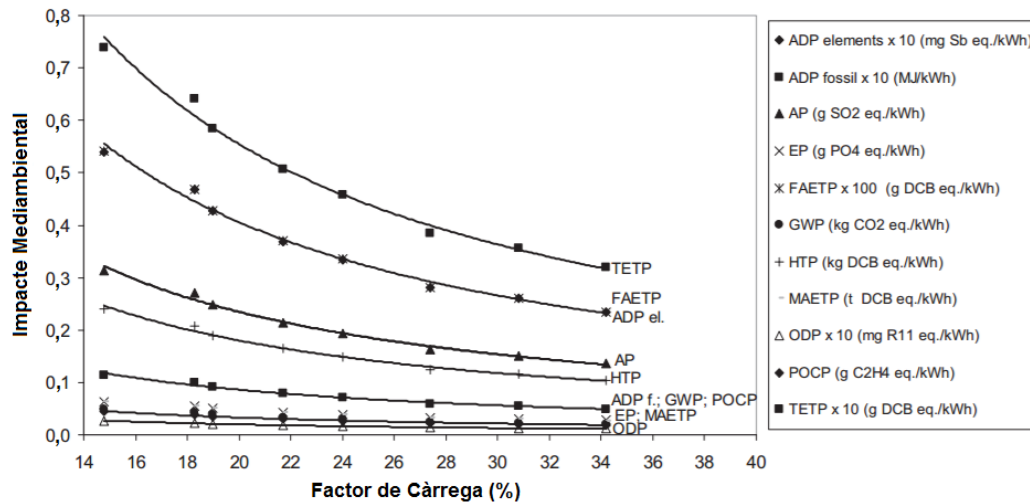
**Figura 39.** Representació gràfica dels diferents impactes ambientals considerats per un factor de càrrega del 21,7%

Per acabar de complementar la informació proporcionada es mostra un gràfic amb la contribució de cadascun dels impactes ambientals analitzats, tenint en compte les diferents etapes del cicle de vida de la turbina minieòlica.



**Figura 40.** Contribució dels impactes ambientals analitzats segons l'etapa del cicle de vida de la turbina minieòlica presentada [29]

Analitzats els resultats sobre els impactes ambientals per al cas particular de l'aerogenerador objecte del projecte, es procedeix a comparar els mateixos indicadors d'impactes ambientals per a cada factor de càrrega mostrat en la taula "47. Rang de factors de càrrega en funció de la generació energètica anual". La finalitat d'aquest anàlisi és determinar la influència del factor de càrrega sobre la sostenibilitat ambiental de les turbines. Per dur a terme aquesta comparació es realitza el gràfic següent.



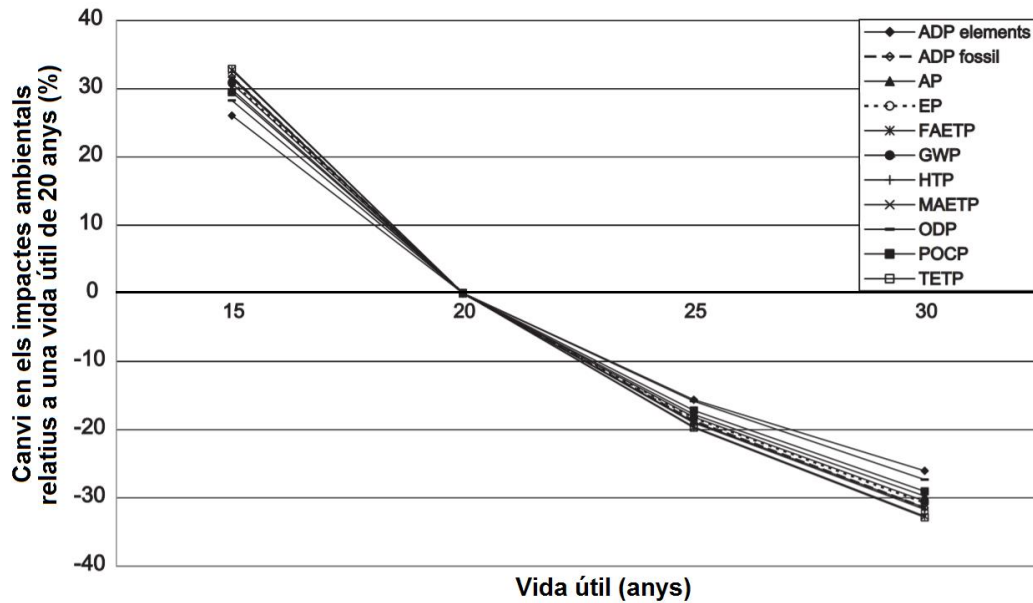
**Figura 41.** Comparació del resultat dels impactes ambientals segons el factor de càrrega presentat (influència del factor de càrrega) [29]

Els resultats obtinguts indiquen que la sostenibilitat ambiental de la turbina minieòlica millora amb l'augment del factor de càrrega en tant que la producció energètica derivada d'aquesta es veu incrementada.

### 11.2.2. Vida Útil

La vida útil d'un aerogenerador depèn de diversos factors, incloent la qualitat de la turbina i les condicions climàtiques locals. La majoria de fabricants assumeixen una vida útil per a les seves turbines que s'estableix en un rang entre els 15 i els 30 anys.

El gràfic mostrat a continuació determina la influència de la vida útil d'una turbina en relació amb els impactes ambientals analitzats en aquest estudi. Les dades han sigut exposades considerant una turbina de 20 anys de vida útil, per tant aquest representa el valor de referència.

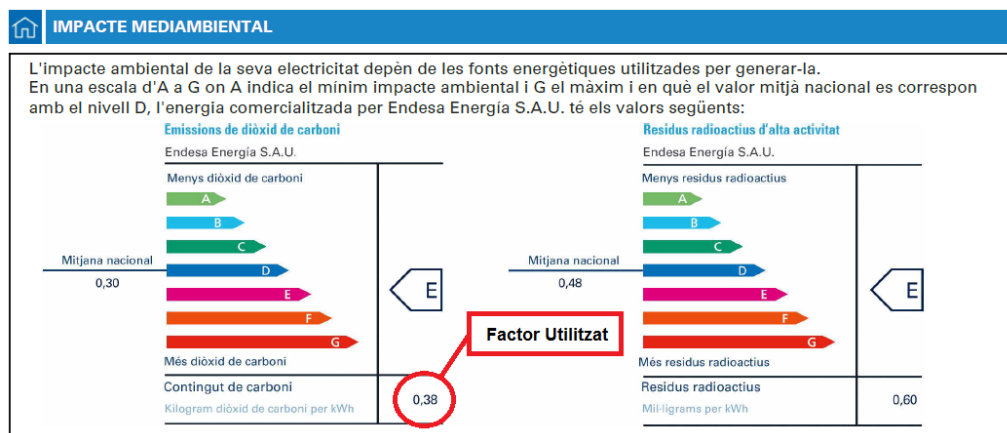


**Figura 42.** Canvi dels impactes ambientals en relació amb la vida útil del sistema minieòlic [29]

Es conclou que els impactes ambientals decreixen a mesura que augmenta la vida útil de la instal·lació.

Seguidament s'avalua la disminució de l'impacte mediambiental que el sistema minieòlic suposa en el centre educatiu *Liceo Egara* a causa de l'estalvi energètic derivat de les turbines *Bornay 6kW*. L'energia generada per la instal·lació minieòlica és deixada de subministrar per la companyia subministradora d'electricitat *ENDESA*. D'aquesta manera, s'aplica un factor d'emissió de  $\text{CO}_2$  associat a cada kWh estalviat.

A partir de les factures proporcionades pel centre educatiu s'extreu el factor definit en el paràgraf anterior.



**Figura 43.** Exemple de factura proporcionada pel centre Liceo Egara d'on s'extreu el factor d'emissió de  $\text{CO}_2$

Aplicant el càlcul següent s'obtenen els kilograms de CO<sub>2</sub> anuals estalviats.

$$\frac{228.360 \text{ gCO}_2\text{eq}}{11.400 \text{ kWh}} = 20,03 \text{ gCO}_2\text{eq/kWh}$$

Mitjançant aquest valor es pot calcular el balanç ambiental al llarg de la vida útil del sistema minieòlic.

Any	Emissions Generades (kg CO <sub>2</sub> equivalent)	Balanç Ambiental (kg CO <sub>2</sub> equivalent)
0	222,36	222,36
1	-4.332,00	-4.109,64
2	-4.332,00	-8.441,64
3	-4.332,00	-12.773,64
4	-4.332,00	-17.105,64
5	-4.332,00	-21.437,64
6	-4.332,00	-25.769,64
7	-4.332,00	-30.101,64
8	-4.332,00	-34.433,64
9	-4.332,00	-38.765,64
10	-4.332,00	-43.097,64
11	-4.332,00	-47.429,64
12	-4.332,00	-51.761,64
13	-4.332,00	-56.093,64
14	-4.332,00	-60.425,64
15	-4.332,00	-64.757,64
16	-4.332,00	-69.089,64
17	-4.332,00	-73.421,64
18	-4.332,00	-77.753,64
19	-4.332,00	-82.085,64
20	-4.332,00	-86.417,64
21	-4.332,00	-90.749,64
22	-4.332,00	-95.081,64
23	-4.332,00	-99.413,64
24	-4.332,00	-103.745,64
25	-4.332,00	-108.077,64

*Taula 45. Balanç ambiental derivat de la instal·lació minieòlica prevista al centre educatiu Liceo Egara*



### 11.3. Balanç Energètic

El present apartat conté el balanç energètic de la instal·lació minieòlica situada al centre educatiu *Liceo Egara*. A causa de la falta de dades sobre la quantitat d'energia aportada en cadascuna de les etapes presents en el cicle de vida del model *Bornay 6kW*, es decideix realitzar una comparativa amb els resultats extrets d'un Anàlisi de Cicle de Vida corresponent a un aerogenerador de grans dimensions (2 MW). La comparació és realitzada mitjançant l'aplicació d'un factor de pes, en tant que es considera que els aspectes més rellevants depenen de volums o pesos de fabricació.

La informació presentada a continuació és extreta de L'Anàlisi de Cicle de Vida realitzat per l'expert *Chaouki Ghenai* pertanyent a la universitat *Florida Atlantic University*. Les següents taules mostren de manera resumida el llistat de materials presents en el model d'aerogenerador de 2MW i els diferents processos de producció emprats en el tractament d'aquests.

Element	Material	Pes (kg)
Torre, Estructura	Acer de Baix Carboni	164.000
Torre, Protecció Catòdica	Aliatges de Zinc	203
Gòndola, Engranatges	Acer Inoxidable	19.000
Gòndola, Nucli Generador	Metall fos, Gris	9.000
Gòndola, Conductors Generador	Coure	1.000
Gòndola, Transformador Nucli	Metall fos, Gris	6.000
Gòndola, Transformador Conductors	Coure	2.000
Gòndola, Transformador Conductors	Aliatges d'Alumini	1.700
Gòndola, Coberta	GFRP, Matriu d'Epoxi (isotròpica)	4.000
Gòndola, Eix Principal	Metall fos, Dúctil (nodular)	12.000
Gòndola, Altres Elements Forjats	Acer Inoxidable	3.000
Gòndola, Altres Elements Fosos	Metall fos, Dúctil (nodular)	4.000
Rotor, Aspes	GFRP, Matriu d'Epoxi (isotròpica)	24.500
Rotor, Components Metàl·lics	Metall fos, Dúctil (nodular)	2.000
Rotor, Filador	GFRP, Matriu d'Epoxi (isotròpica)	3.000
Rotor, Filador	Metall fos, Dúctil (nodular)	2.200
Fonaments, torre i Plataforma	Formigó	805.000
Fonaments, Acer	Acer de Baix Carboni	27.000
Transmissió, Conductors	Coure	254
Transmissió, Conductors	Aliatges d'Alumini	72
Transmissió, Aïllaments	Poliestirè (PE)	1.380
<b>Total</b>		<b>1.091.000</b>

*Taula 46. Llista del materials presents a l'aerogenerador de 2MW de potència [42]*

Element	Procés de Producció
Torre, Estructura	Forja, Laminació
Torre, Protecció Catòdica	Fosa
Gòndola, Engranatges	Forja, Laminació
Gòndola, Nucli Generador	Forja, Laminació
Gòndola, Conductors Generador	Forja, Laminació
Gòndola, Transformador Nucli	Forja, Laminació
Gòndola, Transformador Conductors	Forja, Laminació
Gòndola, Transformador Conductors	Forja, Laminació
Gòndola, Coberta	Formació de Compost
Gòndola, Eix Principal	Fosa
Gòndola, Altres Elements Forjats	Forja, Laminació
Gòndola, Altres Elements Fosos	Fosa
Rotor, Aspes	Formació de Compost
Rotor, Components Metàl·lics	Fosa
Rotor, Filador	Formació de Compost
Rotor, Filador	Fosa
Fonaments, torre i Plataforma	Construcció
Fonaments, Acer	Forja, Laminació
Transmissió, Conductors	Forja, Laminació
Transmissió, Conductors	Forja, Laminació
Transmissió, Aïllaments	Extrusió de Polímer

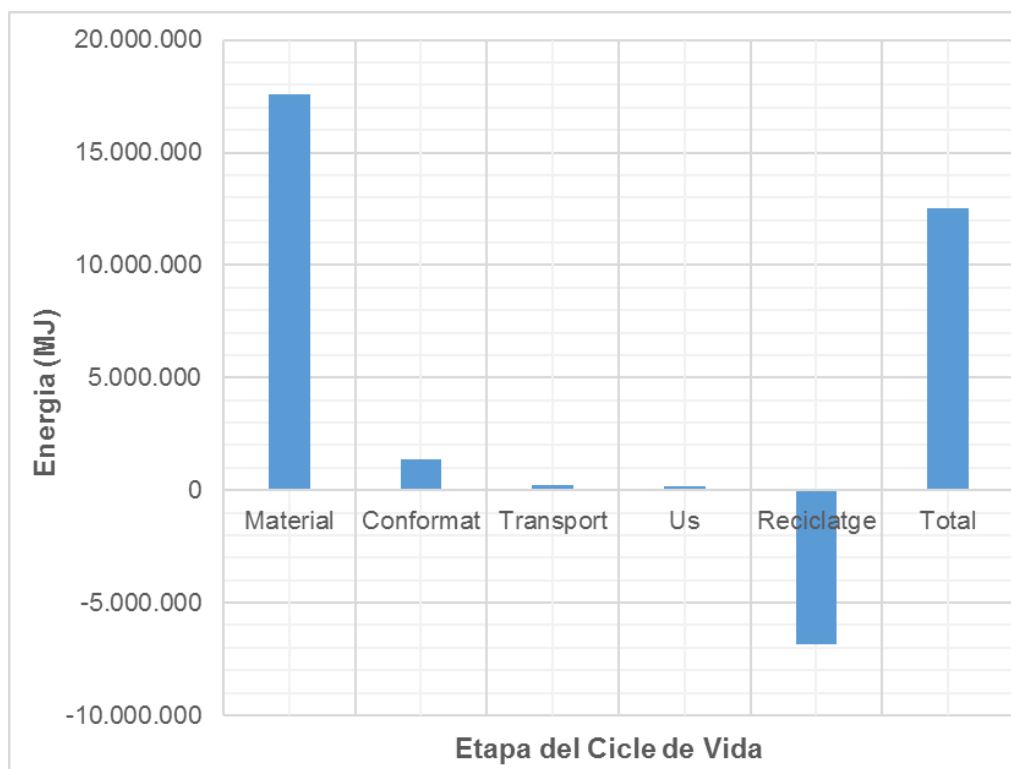
*Taula 47. Processos de producció [42]*

Per una altra part es presenta una estimació de les generacions d'emissions de CO<sub>2</sub> equivalent tenint en compte cadascuna de les etapes del cicle de vida del generador de 2MW.

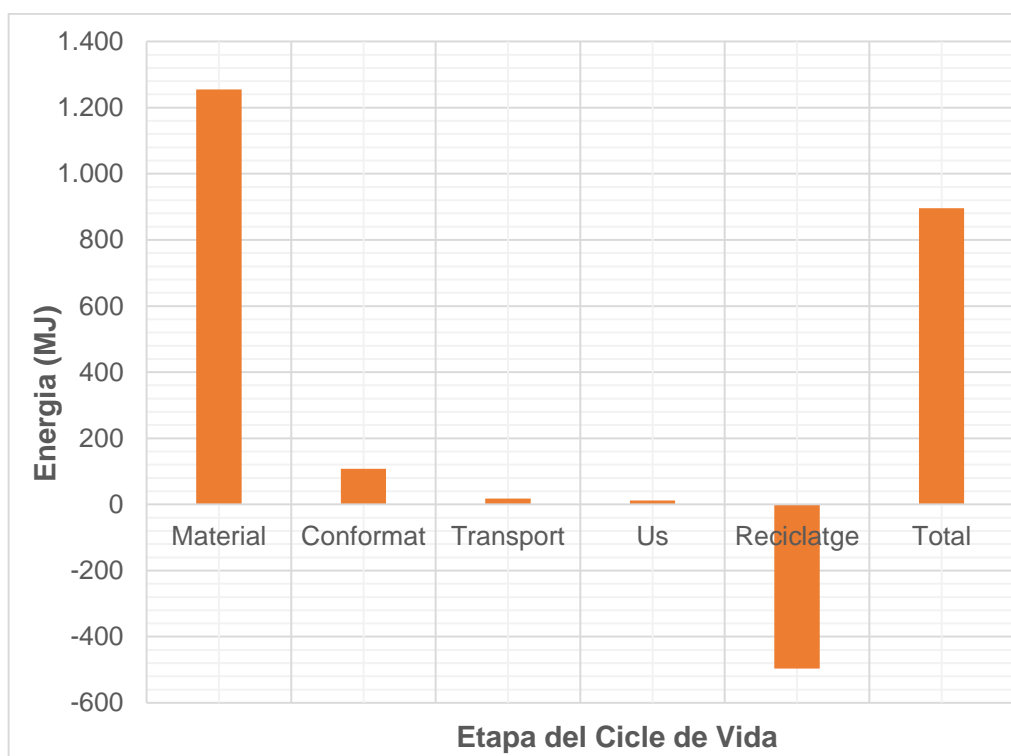
Etapa	Emissions durant l'ACV	
	Energia (MJ)	CO <sub>2</sub> equivalent (t)
<b>Material</b>	17.594.000	1.254,600
<b>Conformat</b>	1.359.300	107,670
<b>Transport</b>	243.360	17,279
<b>Ús</b>	167.780	11,913
<b>Reciclatge</b>	-6.851.200	-495,917
<b>Total</b>	<b>12.513.240</b>	<b>895,544</b>

*Taula 48. Estimació de les emissions en les diferents etapes del cicle de vida de l'aerogenerador de 2MW [42]*

Amb la finalitat d'obtenir un resultat visual de les dades contingudes en la taula anterior es presenten els gràfics següents.



**Figura 44.** Energia consumida en les etapes considerades en l'ACV



**Figura 45.** Emissions de CO<sub>2</sub> equivalent en les etapes considerades en l'ACV

L'Anàlisi de Cicle de Vida realitzat en el document no considera que els materials emprats en la producció del dispositiu provenguin del reciclatge d'altres elements. Si aquesta situació es donés, disminuiria el consum i les emissions en aquesta etapa referent als materials.

Seguidament es duu a terme la comparativa de pesos d'ambdues turbines analitzades, l'aerogenerador de 2MW i el model *Bornay 6kW* escollit en el present projecte.

$$\frac{\text{Pes Bornay 6kW}}{\text{Pes Aerogenerador Gran Eòlica (2MW)}} = \frac{107 \text{ kg}}{1.091.000 \text{ kg}} \times 100 = 0,0098 \%$$

Amb el factor de pes obtingut i l'aplicació d'un coeficient de seguretat del 20%, el qual considera alguns aspectes no contemplats en l'estudi com la instal·lació de les turbines *Bornay 6kW* directament al sostre sense la col·locació d'una torre, s'obtenen els resultats següents.

	Consums Totals durant l'ACV		Emissions Totals durant l'ACV	
	Energia (MJ)		CO <sub>2</sub> eq (kg)	
<b>Bornay 6kW</b>	1.227,24	<b>1.472,72</b>	87,83	<b>105,40</b>
Instal·lació Minieòlica del centre Liceo Egara (formada per dos <b>Bornay 6kW</b> )	2.454,48	<b>2.945,38</b>	175,66	<b>210,79</b>

*Taula 49. Consums i emissions totals del sistema minieòlic format per les turbines Bornay 6kW durant l'anàlisi del cicle de vida*

Els resultats anteriors són comparats amb el potencial de canvi climàtic derivat de la generació energètica en sistemes eòlics terrestres. Aquestes dades són extretes de l'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*).

Tecnologia	Mínima	Mitjana	Màxima
<b>Eòlica Terrestre</b>	8,0	12	35

*Taula 50. Valors del coeficient de potencial de canvi climàtic [30]*

Considerant les unitats utilitzades, les quals són gCO<sub>2</sub> eq./kWh s'analitza l'aerogenerador *Bornay 6kW* emprat en el present projecte.

$$\frac{210.790 \text{ gCO}_2 \text{eq.}}{11.400 \text{ kWh}} = 18,49 \text{ gCO}_2 \text{eq.}$$

S'observa que els resultats obtinguts concorden amb els valors de la taula superior i per tant es conclou que l'aproximació realitzada és admissible.

## 12. Marc Econòmic

El següent bloc presenta el marc econòmic del projecte d'instal·lació del sistema minieòlic en el centre educatiu *Liceo Egara*.

Aquest bloc es centra principalment en la realització de l'avaluació econòmica del projecte. Per dur a terme aquest anàlisi és imprescindible recórrer al "*Document 3 – Pressupost*". Tot i que es pot consultar el document de manera directa, es realitza un petit resum de les dades més importants d'aquest, necessàries per entendre l'apartat següent.

Seguidament, es procedeix a l'aplicació de diverses eines que permeten obtenir una justificació sobre la viabilitat econòmica del projecte.

### 12.1. Pressupost del Projecte

El quadre mostrat a continuació es tracta d'un extracte del "*Document 3 – Pressupost*" pertanyent al projecte present. Principalment es mostren les dades referents als costos totals relatius a la execució del projecte.

Concepte	Cost
<b>Recursos</b>	<b>11.800 €</b>
<i>Enginyeria Bàsica</i>	7.500 €
<i>Enginyeria de Detall</i>	2.800 €
<i>Instal·lació</i>	1.500 €
<b>Equips i Materials</b>	<b>20.720 €</b>
<i>Aerogenerador Bornay 6kW</i>	8.160 € x 2 unitats
<i>Inversor Aecon 9,9 kWp 380v 50 Hz III</i>	1.500 € x 2 unitats
<i>Suport tubular per a sostre (5m)</i>	600 € x 2 unitats
<i>Cablejat (150 m)</i>	200 €
<b>Projecte Educatiu</b>	<b>5.686 €</b>
<i>Maqueta Aerogeneradors</i>	4.720 €
✓ <i>Aerogeneradors No Funcionals (Escala 1:50)</i>	1.380 € x 4 unitats (14% de descompte)
<i>Panells informatius</i>	196 €
✓ <i>Faristol</i>	49 € x 4 unitats
✓ <i>Tòtem</i>	178 € x 1 unitat
<i>Comptadors</i>	148 € x 4 unitats
<b>TOTAL</b>	<b>38.206 €</b>

*Taula 51. Costos totals associats a l'execució final del projecte. Document 2 – Pressupost*

Els costos es poden dividir en tres grans grups tenint en compte els recursos necessaris per dur a terme el projecte, els equips i materials a adquirir i finalment,

els costos derivats de la posada en marxa del projecte educatiu, el qual requereix d'alguns elements addicionals a la instal·lació minieòlica.

A partir de les dades exposades en la taula superior es procedeix a realitzar l'estudi de viabilitat econòmica del projecte. Es decideix que, malgrat l'existència de tres grans conceptes diferenciats, l'estudi sobre la viabilitat econòmica se centra únicament en el sistema minieòlic i per tant, són considerats els costos relatius a l'equip i els materials emprats en el sistema minieòlic així com la seva instal·lació i operació. Conseqüentment, la inversió destinada al projecte educatiu i a les activitats d'enginyeria bàsica i de detall no són tinguts en compte.

El motiu pel qual és presa aquesta decisió és el caràcter voluntari del projecte educatiu, el qual no influeix sobre la instal·lació minieòlica. Addicionalment, es proposa que el projecte educatiu sigui subvencionat a través d'algun mitjà, i per tant no suposi un cost d'inversió. En apartats posteriors es presenten les diverses solucions establertes per cobrir la inversió esmentada.

La decisió sobre la supressió dels costos relatius a l'enginyeria és clarificada els següents apartats.

## **12.2. Viabilitat Econòmica del Projecte**

Establert el pressupost de la instal·lació, es procedeix a realitzar l'estudi sobre la viabilitat econòmica del sistema minieòlic.

L'execució d'aquest anàlisi incideix principalment sobre els conceptes de costos i guanys econòmics, definits per a diferents escenaris o situacions. A partir de les dades extretes es calculen diferents indicadors financers, mitjançant els quals és possible establir una conclusió final sobre la viabilitat econòmica del projecte.

### **12.2.1. Costos sobre la Instal·lació Minieòlica**

Els costos associats al concepte de recursos, concretament els relatius a l'enginyeria bàsica i de detall són notablement elevats. En conseqüència, el cost total del projecte augmenta i la seva viabilitat econòmica disminueix.

En relació a la quantitat d'hores destinades a l'etapa del projecte esmentada en el paràgraf superior, es determina que la inversió temporal dedicada és summament elevada. El motiu recau sobre el fet que es consideren les hores destinades a dur a terme el Treball de Fi de Grau, el qual presenta una sèrie de limitacions que en el cas d'un entorn laboral professional no es donarien. Concloent que, en el cas que aquest projecte fos realitzat per una empresa, una consultora o un enginyer/a

particular, la dedicació d'hores invertides en el desenvolupament del projecte es reduiria notablement, disminuint en conseqüència l'aportació econòmica.

Per aquest motiu i amb la finalitat de considerar un escenari més realista, es decideix descartar els costos referents a l'enginyeria bàsica i de detall, tal com s'havia introduït prèviament.

El quadre mostrat a continuació recull els costos finals considerats en el desenvolupament del projecte els quals determinen la inversió realitzada en termes d'equips i materials relatius al sistema eòlic així com la seva instal·lació.

Concepte	Cost
<b>Equips i Materials</b>	<b>20.720 €</b>
<i>Aerogenerador Bornay 6kW (2 unitats)</i>	8.160 € x 2 unitats
<i>Inversor Aecon 9,9 kWp 380v 50 Hz III (2 unitats)</i>	1.500 € x 2 unitats
<i>Suport tubular per a sostre 5m (2 unitats)</i>	600 € x 2 unitats
<i>Cablejat (150 m)</i>	200 €
<b>Instal·lació</b>	<b>1.500 €</b>
<b>TOTAL</b>	<b>22.220 €</b>

*Taula 52. Resum dels costos finals assumits en l'estudi de viabilitat econòmica del projecte*

Adicionalment, és imprescindible considerar els costos destinats al manteniment de la instal·lació minieòlica. La majoria d'aquests costos es defineixen com una quantitat fixa anual destinada al manteniment regular de les turbines. Per establir els costos destinats al manteniment es consideren dues hipòtesis principals.

- ✓ Es realitzen un total de dues inspeccions anuals, corresponents a la revisió semestral deguda als canvis d'estacions principals (estacions temperades i estacions fredes).  
Les inspeccions són realitzades per un tècnic especialitzat el qual proporciona un servei valorat en 20 € per hora treballada.
- ✓ Donat que la instal·lació està formada per dues turbines eòliques es calculen un total de 4 hores anuals destinades al manteniment d'aquestes (a cada inspecció se li atribueixen 2 hores de dedicació). La quantitat d'hores s'estableix tenint en compte la dimensió i la dificultat de les activitats a realitzar durant la inspecció, les quals són majoritàriament comprovacions visuals. Per obtenir un major detall sobre aquestes activitats es pot consultar l'apartat "9.3. *Manteniment*".

Conseqüentment, el cost anual relatiu al manteniment del sistema minieòlic resulta en 80 € anuals.

$$\text{Cost Manteniment} = 20 \text{ €/h} \cdot 4 \text{ h/any} = 80 \text{ €/any}$$

El valor de 80 € anuals establert anteriorment no contempla el possible recanvi de components espatllats, fet que augmentaria notablement el cost esmentat. No



obstant, donat que els criteris adoptats durant tot el projecte són bastant restrictius i s'acullen a les situacions més desfavorables, es considera que aquest cost de manteniment pot suposar un equilibri davant la possible sobreestimació negativa realitzada.

Per una altra part, és necessari clarificar que els costos de manteniment es consideren guanys negatius, en conseqüència no es presenten en la inversió inicial.

Finalment, s'estableix una inversió total inicial de **22.220** euros.

### **12.2.2. Guanys Econòmics sobre la Instal·lació Minieòlica**

Per a la correcta realització de l'estudi de viabilitat econòmica del projecte és important l'aclariment de dos conceptes bàsics relacionats entre ells però amb significats diferents: guany i benefici. Per una part, els guanys representen la suma de tots els ingressos econòmics obtinguts mitjançant una activitat, en aquest cas els ingressos deriven del projecte eòlic. El benefici, per una altra part, és el resultat que esdevé de la resta de les despeses derivades de l'esmentada activitat en relació amb els guanys, en un determinat espai de temps.

En conseqüència, els resultats obtinguts en el present apartat no es defineixen com a beneficis, en tant que no es tenen en compte, per exemple, les despeses implícites en el manteniment anual dels artefactes.

La instal·lació eòlica implementada a l'escola *Liceo Egara* proporciona uns determinats guanys econòmics al centre, procedents de la generació energètica aportada per les turbines. L'autogeneració elèctrica es tradueix en un percentatge de cobertura energètica que suposa un estalvi en termes econòmics per l'escola. El cost de l'energia derivada de la minieòlica és descomptat de la facturació elèctrica anual de la institució.

Seguidament es procedeix a determinar els guanys econòmics derivats del projecte. Segons el percentatge energètic cobert per la instal·lació minieòlica es defineixen dos escenaris llinars: l'escenari optimista i l'escenari pessimista.

#### *12.2.2.1. Escenari Optimista*

Es considera un aprofitament total de l'energia generada pel sistema minieòlic. Amb la finalitat d'obtenir uns resultats el més propers a la realitat possibles, aquest escenari té en compte les pèrdues del 41%, definides en *"l'apartat 2 de l'Annex V*

del “Document 4 – Annexos”, ja que una situació de generació energètica ideal (sense cap tipus de pèrdua) és impossible.

Tenint en compte les premisses definides, es calcula el percentatge de cobertura energètica proporcionada per la instal·lació, tenint en compte la demanda elèctrica anual del centre.

$$\% \text{ Energia Eòlica} = \frac{\text{Energia Mitjana Anual Generada}}{\text{Consum Mitjà Anual}} \cdot 100$$

$$\% \text{ Energia Eòlica} = \frac{11.400 \text{ kWh}}{58.205,54 \text{ kWh}} \cdot 100 = 19,6 \% \approx \mathbf{20 \%}$$

#### 12.2.2.2. Escenari Pessimista

S'estableix un aprofitament del 50% de l'energia generada pel sistema minieòlic, el qual es considera el mínim percentatge possible a assolir. Com en el cas anterior, l'escenari pessimista també considera les pèrdues del 41%.

Els càlculs mostrats a continuació determinen el percentatge de cobertura energètica proporcionada per la instal·lació en l'escenari definit.

$$\% \text{ Energia Eòlica} = \frac{\text{Energia Mitjana Generada}}{\text{Consum Mitjà Anual}} \cdot 50$$

$$\% \text{ Energia Eòlica} = \frac{11.400 \text{ kWh}}{58.205,54 \text{ kWh}} \cdot 50 = 9,8 \% \approx 10 \%$$

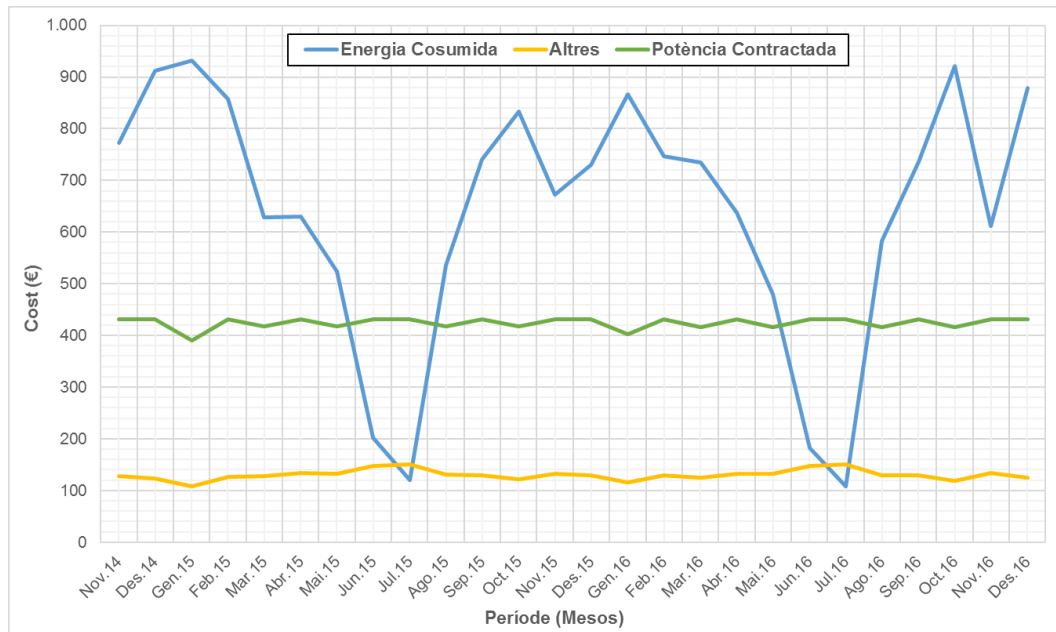
Els valors lliardar obtinguts acoten un ampli rang de situacions possibles, les quals poden ser sotmeses a estudi. Amb la finalitat de realitzar un anàlisi més complet, es decideix afegir un tercer escenari, situat entre ambdós escenaris anteriors, anomenat escenari moderat, el qual es troba situat en el punt mig d'aquests.

$$\% \text{ Energia Eòlica} = \frac{\text{Energia Eòlica (Optimista + Pessimista)}}{2} = 14,7 \% \approx 15 \%$$

En alguns dels casos situats entre l'escenari moderat i el pessimista pot esdevenir una situació en que no es compleixi el requeriment establert sobre el cobriment energètic però el projecte resulti viable econòmicament, la qual cosa continua sent una opció òptima.

A partir dels escenaris anteriors i l'energia coberta per la instal·lació eòlica en el centre educatiu en cada cas, es determinen els guanys derivats de cada situació, referents a l'estalvi econòmic relatiu a l'aportació elèctrica.

Els càlculs realitzats únicament recauen sobre els costos de l'energia consumida pel centre educatiu, per tant els costos relatius a la potència contractada, el lloguer d'equips i els impostos elèctrics no són considerats. La informació definida en aquest paràgraf es mostra de manera visual en el següent gràfic.



**Figura 46.** Gràfic sobre els costos presents en la factura elèctrica durant els mesos d'estudi

Per a la realització del gràfic superior es prenen les dades proporcionades per les factures elèctriques de l'escola *Liceo Egara*.

D'aquestes mateixes dades extretes de les factures, s'obté un valor de **7.650,36** euros referent a la facturació mitjana consumida anualment. Mitjançant l'esmentat valor es calculen els guanys econòmics derivats de cada escenari durant els anys de vida útil previstos per la instal·lació minieòlica.

La taula mostrada a continuació recull la informació definida en aquest apartat, establint el guany econòmic present durant el primer, cinquè, desè, quinçè, vintè i vint-i-cinquè any, període de temps establert com a vida útil dels aerogeneradors *Bornay 6kW*.

Anys	Guanys Econòmics		
	Optimista (20 %)	Moderat (15 %)	Pessimista (10 %)
<b>1</b>	1.530,07 €	1.147,55 €	765,04 €
<b>5</b>	7.650,36 €	5.737,77 €	3.825,18 €
<b>10</b>	15.300,72 €	11.475,54 €	7.650,36 €
<b>15</b>	22.951,08 €	17.213,31 €	11.475,54 €
<b>20</b>	30.601,44 €	22.951,08 €	15.300,72 €
<b>25</b>	38.251,80 €	28.688,85 €	19.125,90 €

**Taula 53.** Guanys econòmic generat per la instal·lació minieòlica durant els anys de vida útil, segons l'escenari plantejat

Considerant l'escenari moderat com el més probable, s'estableix que durant tota la vida útil de la instal·lació eòlica l'estalvi econòmic derivat de la generació energètica és de **28.689** euros.

### 12.2.3. Índex de Retorn de la Inversió (ROI)

Establerts els guanys derivats del projecte es procedeix a avaluar la viabilitat econòmica de la instal·lació minieòlica.

És important clarificar que en els càlculs realitzats a continuació no es considerarà el projecte educatiu, en tant que es tracta d'una proposta addicional per enriquir el projecte i en cap cas representa una part imprescindible de l'estudi sinó una part complementària en el desenvolupament del treball.

Amb l'objectiu de conèixer la rendibilitat real de la inversió relativa al sistema minieòlic situat a l'escola *Liceo Egara* es fa ús de l'índex de retorn sobre la inversió (ROI). El ROI és un indicador financer mitjançant el qual es mesura la rendibilitat d'una inversió, és a dir la relació que existeix entre la utilitat neta o els guanys obtinguts, i l'esmentada inversió. La següent expressió defineix la informació definida anteriorment.

$$ROI = \frac{\text{Inversió Total}}{\text{Benifici Anual}}$$

El valor resultant de l'expressió anterior determina el període temporal (definit en anys) necessari per recuperar la inversió inicial.

Incidint sobre la inversió total, és important establir que únicament es tenen en compte els costos relatius a l'equip i el material adquirits, així com la seva instal·lació. Per una altra part, el denominador considera l'estalvi anual derivat del dispositiu instal·lat (guanys positius) i les pèrdues econòmiques que resulten del manteniment d'aquest (guanys negatius).

Els càlculs presentats a continuació determinen l'índex de retorn sobre la inversió aplicada al sistema minieòlic tenint en compte els tres tipus d'escenaris definits prèviament.

$$ROI_{Optimista} = \frac{23.720}{1.530,07 - 80} = 16,37 \text{ anys}$$

$$ROI_{Moderat} = \frac{23.720}{1.147,55 - 80} = 22,22 \text{ anys}$$

$$ROI_{Pessimista} = \frac{23.720}{765,04 - 80} = 34,63 \text{ anys}$$

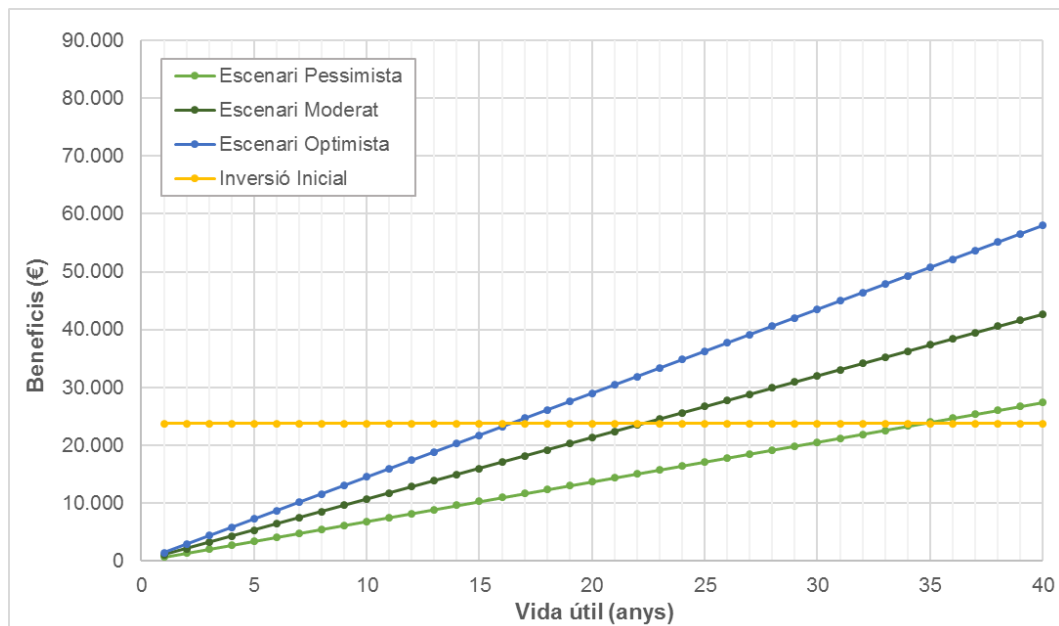
Un dels requisits bàsics del projecte, definit en les primeres pàgines d'aquest document, estableix que la recuperació de la inversió s'ha d'efectuar en un termini màxim de 20 anys. Observant els resultats, es conclou que aquesta premissa es compleix únicament en el primer cas (escenari optimista). Incidint sobre el cas relatiu a l'escenari moderat, la premissa no es compleix per un marge d'aproximadament 2 anys, mentre que en l'escenari pessimista aquest marge augmenta fins als 15 anys.

Utilitzant l'expressió matemàtica anterior de manera inversa s'obté el percentatge de cobertura energètica necessari per recuperar la inversió destinada al sistema eòlic en un període de 20 anys exactes.

$$20 \text{ anys} = \frac{23.720}{(7.650,36 \cdot x) - 80} \rightarrow x = 0,1655 \rightarrow 17 \%$$

No obstant, és important tenir en compte que la vida útil del sistema s'estableix en 25 anys. Aquest fet implica què, tant en l'escenari optimista com en l'escenari moderat, es recupera la inversió inicial i conseqüentment es justifica positivament la viabilitat del projecte.

El gràfic mostrat a continuació presenta la informació definida anteriorment de manera visual.



**Figura 47.** Representació gràfica del ROI en els tres escenaris plantejats

La línia groga representa la inversió inicial sense tenir en compte els costos de manteniment, conseqüentment aquesta es manté constant al llarg dels anys. Les línies restants es refereixen als beneficis obtinguts per a cada escenari durant els anys de vida útil de la instal·lació. En tant que aquests beneficis augmenten al llarg

dels anys, cada recta posseeix un pendent diferent. El punt on es creuen amb la línia relativa a la inversió inicial correspon al valor on la inversió és recuperada (ROI). Aquests valors són els obtinguts prèviament amb més detall mitjançant la fórmula pertinent.

#### 12.2.4. Balanç Econòmic sobre la Instal·lació Minieòlica

Finalment, amb la finalitat de completar l'estudi sobre la viabilitat econòmica de la instal·lació és imprescindible realitzar un balanç econòmic. El quadre mostrat a continuació conté, de manera simplificada, aquest balanç econòmic relatiu als 25 anys de vida útil del sistema minieòlic.

Balanç i Anàlisi Econòmic de la Instal·lació Minieòlica									
Any	Escenari Optimista			Escenari Moderat			Escenari Pessimista		
	Guany	Costos	Beneficis	Guany	Costos	Beneficis	Guany	Costos	Beneficis
1r	1.530,07	23.800	-22.269,93	1.147,55	23.800	-22.652,45	765,04	23.800	-23.034,96
2n	3.060,14	23.880	-20.819,86	2.295,11	23.880	-21.584,89	1.530,07	23.880	-22.349,93
3r	4.590,22	23.960	-19.369,78	3.442,66	23.960	-20.517,34	2.295,11	23.960	-21.664,89
4t	6.120,29	24.040	-17.919,71	4.590,22	24.040	-19.449,78	3.060,14	24.040	-20.979,86
5é	7.650,36	24.120	-16.469,64	5.737,77	24.120	-18.382,23	3.825,18	24.120	-20.294,82
6é	9.180,43	24.200	-15.019,57	6.885,32	24.200	-17.314,68	4.590,22	24.200	-19.609,78
7é	10.710,50	24.280	-13.569,50	8.032,88	24.280	-16.247,12	5.355,25	24.280	-18.924,75
8é	12.240,58	24.360	-12.119,42	9.180,43	24.360	-15.179,57	6.120,29	24.360	-18.239,71
9é	13.770,65	24.440	-10.669,35	10.327,99	24.440	-14.112,01	6.885,32	24.440	-17.554,68
10é	15.300,72	24.520	-9.219,28	11.475,54	24.520	-13.044,46	7.650,36	24.520	-16.869,64
11é	16.830,79	24.600	-7.769,21	12.623,09	24.600	-11.976,91	8.415,40	24.600	-16.184,60
12é	18.360,86	24.680	-6.319,14	13.770,65	24.680	-10.909,35	9.180,43	24.680	-15.499,57
13é	19.890,94	24.760	-4.869,06	14.918,20	24.760	-9.841,80	9.945,47	24.760	-14.814,53
14é	21.421,01	24.840	-3.418,99	16.065,76	24.840	-8.774,24	10.710,50	24.840	-14.129,50
15é	22.951,08	24.920	-1.968,92	17.213,31	24.920	-7.706,69	11.475,54	24.920	-13.444,46
16é	24.481,15	25.000	-518,85	18.360,86	25.000	-6.639,14	12.240,58	25.000	-12.759,42
17é	26.011,22	25.080	931,22	19.508,42	25.080	-5.571,58	13.005,61	25.080	-12.074,39
18é	27.541,30	25.160	2.381,30	20.655,97	25.160	-4.504,03	13.770,65	25.160	-11.389,35
19é	29.071,37	25.240	3.831,37	21.803,53	25.240	-3.436,47	14.535,68	25.240	-10.704,32
20é	30.601,44	25.320	5.281,44	22.951,08	25.320	-2.368,92	15.300,72	25.320	-10.019,28
21é	32.131,51	25.400	6.731,51	24.098,63	25.400	-1.301,37	16.065,76	25.400	-9.334,24
22é	33.661,58	25.480	8.181,58	25.246,19	25.480	-233,81	16.830,79	25.480	-8.649,21
23é	35.191,66	25.560	9.631,66	26.393,74	25.560	833,74	17.595,83	25.560	-7.964,17
24é	36.721,73	25.640	11.081,73	27.541,30	25.640	1.901,30	18.360,86	25.640	-7.279,14
25é	38.251,80	25.720	12.531,80	28.688,85	25.720	2.968,85	19.125,90	25.720	-6.594,10

*Taula 54. Balanç econòmic final segons l'escenari plantejat*

Analitzant els resultats obtinguts es conclou que en el cas dels dos primers escenaris (optimista i moderat) no només es recupera la inversió inicial sinó que, addicionalment, el projecte genera un cert benefici que oscil·la entre els **3.000** i **12.500** euros.

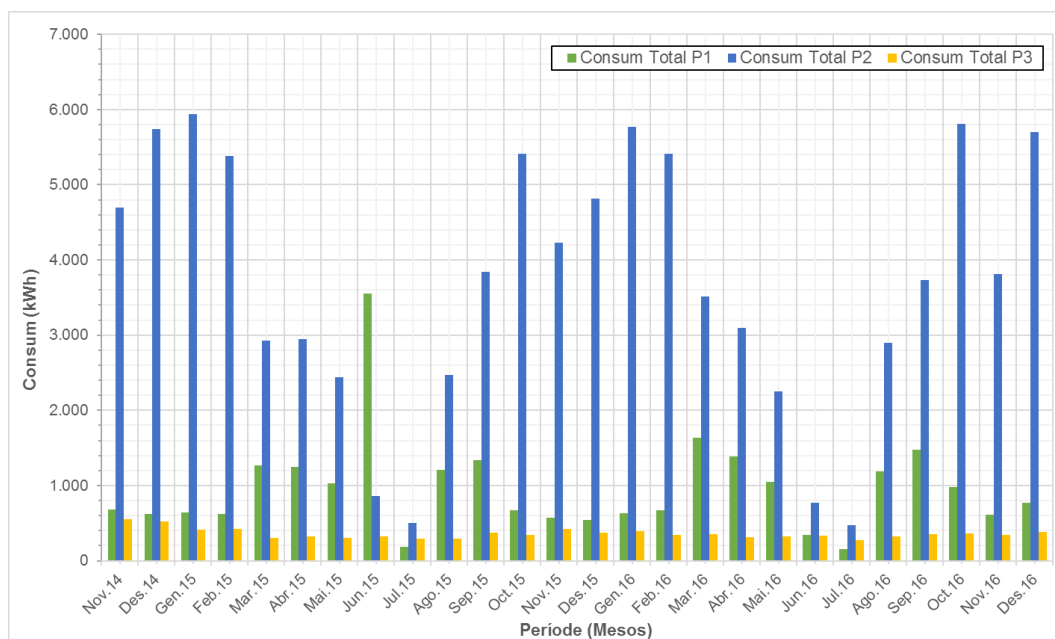
Considerant alta la probabilitat de que el sistema eòlic proporcioni una cobertura energètica d'entre el 15 i el 20 per cent, el projecte és assolible en termes de viabilitat econòmica.

En el cas de l'escenari pessimista el balanç econòmic estableix el projecte com a inviable. No obstant, la probabilitat de que es doni aquest escenari és menor en comparació als altres casos i per tant, tot i tenir-la present, no és concloent.

### 12.3. Proposta de Millora en la Facturació Elèctrica de l'Escola

Durant l'anàlisi de les factures elèctriques de l'escola *Liceo Egara* s'observa un desajust en la contractació de potència.

Existeix una pronunciada diferència entre la demanda energètica de cada període tarifari. El gràfic presentat a continuació té l'objectiu de clarificar visualment aquesta situació.



**Figura 48.** Representació gràfica per períodes tarifaris del consum energètic del centre educatiu

El període pla (P2), corresponent a les hores centrals del dia compreses entre les 8:00 i les 18:00, es presenta com el període amb més demanda energètica. Aquest fet és totalment justificable donat que l'activitat escolar se centra principalment en aquesta franja de temps. Oposadament, en el període vall (P3), constituït per les hores nocturnes, la demanda elèctrica és notablement menor. Durant la nit l'escola roman tancada i la seva activitat és nul·la, no obstant alguns electrodomèstics i aparells esdevenen actius i és aquest el motiu de l'existència d'un consum mínim. Finalment el període punta (P1), relatiu a les hores de la tarda (hivern) i del migdia



(estiu), presenta una demanda intermèdia als períodes anteriors a causa de que l'activitat en aquestes hores és mínima.

Actualment, malgrat la disparitat de demanda en cada període de facturació de la tarifa 3.0A, la potència contractada per als tres períodes és de 62 kW. Aquesta potència es pot considerar adequada per al cas del període pla (P2), però resulta sobredimensionada en referència als altres dos períodes (P1 i P3).

En aquest apartat es presenta una proposta de contractació basada en la diferenciació dels tres períodes. L'objectiu és aconseguir equilibrar la potència contractada a la demanda per tal d'aconseguir una facturació més adequada i evitar pèrdues econòmiques innecessàries.

L'estudi utilitza les dades corresponents a les factures elèctriques de l'any més recent (2016), les quals han sigut proporcionades per l'escola. El quadre presentat a continuació recull les dades relatives a la contractació actual de 62 kW en cada període.

Dies	Període (Mes)	Potència Màxime (kW)			Potència a Facturar			Preu P1 (€/kWh)	Preu P2 (€/kWh)	Preu P3 (€/kWh)	Cost P1 (€)	Cost P2 (€)	Cost P3 (€)
		P1	P2	P3	P1	P2	P3						
31	Gen.16	23	48	8	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	255,87	207,03	149,17
28	Feb.16	35	45	8	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	231,11	187,00	134,74
31	Mar.16	42	44	7	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	255,87	207,03	149,17
30	Abr.16	43	39	3	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	247,61	200,35	144,36
31	Mai.16	27	31	3	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	255,87	207,03	149,17
30	Jun.16	8	7	2	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	247,61	200,35	144,36
31	Jul.16	2	5	1	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	255,87	207,03	149,17
31	Ago.16	31	35	5	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	255,87	207,03	149,17
30	Sep.16	39	39	3	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	247,61	200,35	144,36
31	Oct.16	25	43	6	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	255,87	207,03	149,17
30	Nov.16	21	46	3	52,7	52,7	52,7	0,156619	0,126726	0,091310	247,61	200,35	144,36
31	Des.16	26	57	4	52,7	57	52,7	0,156702	0,126841	0,091420	256,00	224,13	149,35
365	Màxim	43	57	8				Terme de Potència (€)			3.012,78	2.454,73	1.756,57
	Promig	26,83	36,58	4,42							7.224,09		

*Taula 55. Facturació del consum energètic segons els períodes tarifarís (62 kW de potència contractada a cada període)*

La informació extreta del màxime es presenta en tres colors.

- ✓ **Verd.** Potència enregistrada pel màxime que representa un valor menor al 85% de la potència contractada.
- ✓ **Groc.** Potència enregistrada pel màxime que representa un valor trobat entre el 85% i el 105 % de la potència contractada.
- ✓ **Vermell.** Potència enregistrada pel màxime que representa un valor major al 105 % de la potència contractada.

El valor mesurat pel màximetre determina la potència a facturar. A continuació es presenten les expressions matemàtiques corresponents a cada situació, extretes de l'apartat "4.1. Conceptes Bàsics sobre Factures Elèctriques".

$$85 \% PC > PM \rightarrow PF = 0,85 \cdot PC$$

$$85 \% PC < PM < 105 \% PC \rightarrow PF = PM$$

$$105 \% PC < PM \rightarrow PF = PM + 2(PM - 1,05 \cdot PC)$$

On  $PC$  fa referència a la potència contractada i  $PM$  determina la potència mesurada pel màximetre.

En aquest cas, el cost total de facturació en termes de potència, considerant els tres períodes, és de **7.224** euros anuals.

Realitzant un mètode iteratiu i tenint en compte els valors màxim i mitjà mesurats pel màximetre en cada període, s'estableixen aproximadament els valors de les potències a considerar. La taula següent resumeix els resultats obtinguts.

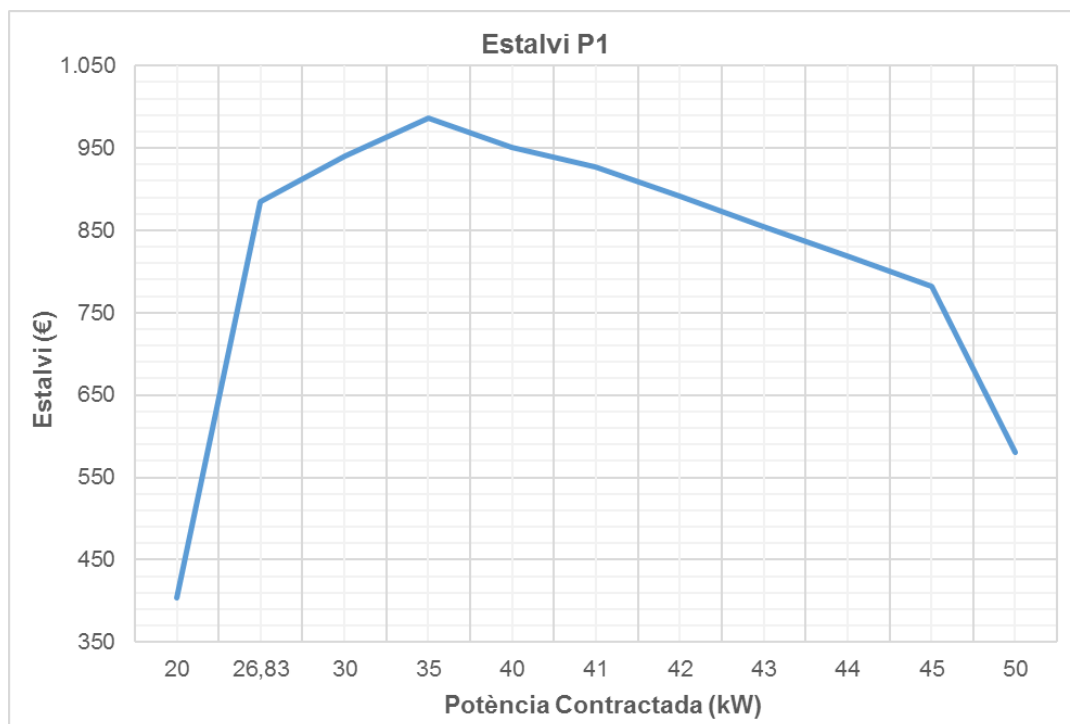
Període Punta (P1)			Període Pla (P2)			Període Vall (P3)		
Potència Contractada (kW)	TP (€/any)	Estalvi (€)	Potència Contractada (kW)	TP (€/any)	Estalvi (€)	Potència Contractada (kW)	TP (€/any)	Estalvi (€)
20	2.609,52	403,26	30	2.708,33	-253,60	3	258,21	1.498,36
26,83	<b>2.128,28</b>	<b>884,50</b>	36,58	<b>2.300,62</b>	<b>154,11</b>	4,42	<b>227,09</b>	<b>1.529,48</b>
30	2.072,84	939,94	40	2.159,85	294,88	5	220,51	1.536,06
35	<b>2.025,90</b>	<b>986,88</b>	45	2.064,35	390,38	6	<b>215,82</b>	<b>1.540,75</b>
40	2.062,13	950,65	46	<b>2.064,21</b>	<b>390,52</b>	7	219,48	1.537,09
41	2.085,49	927,29	47	2.075,67	379,06	8	<b>233,69</b>	<b>1.522,88</b>
42	2.121,31	891,47	50	2.110,03	344,70	9	255,03	1.501,54
43	<b>2.157,79</b>	<b>854,99</b>	55	2.201,90	252,83	10	283,32	1.473,25
44	2.194,27	818,51	57	<b>2.274,85</b>	<b>179,88</b>	12	339,98	1.416,59
45	2.230,74	782,04	58	2.310,82	143,91	15	424,98	1.331,59
50	2.432,01	580,77	59	2.346,80	107,93	20	566,64	1.189,93

*Taula 56. Resultats derivats de l'aplicació d'un mètode iteratiu per determinar la potència de contractació òptima*

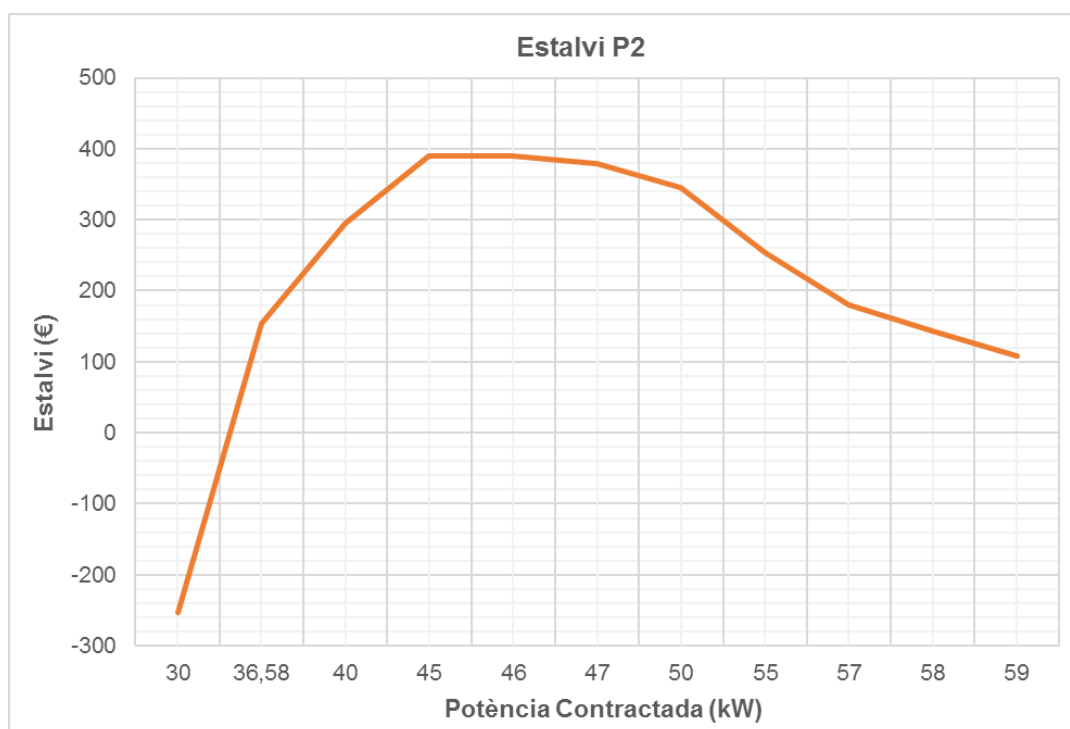
S'observa que per a cada període s'estableixen una sèrie de possibles potències a contractar, determinant el cost en termes de potència per a cada cas i l'estalvi econòmic produït en relació amb la nova potència contractada.

Els valors màxim i mitjà de cada període s'han representat en groc, mentre que el valor òptim, corresponent a la potència contractada que suposa l'estalvi major, s'ha ressaltat en color verd.

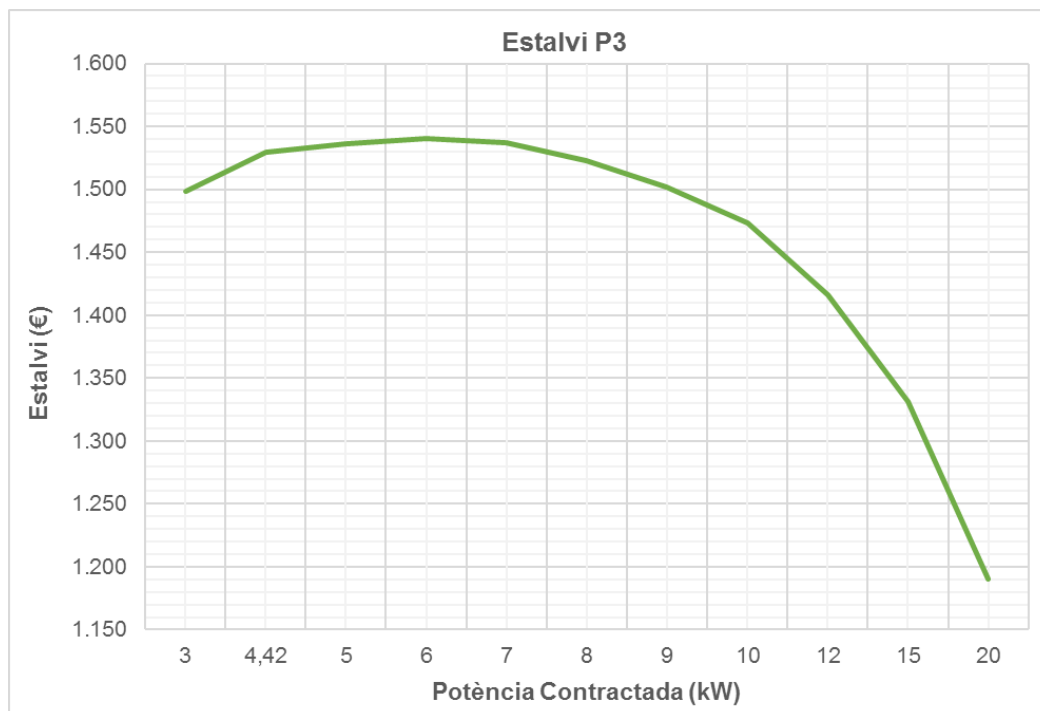
Les gràfiques mostrades a continuació presenten de manera visual les dades incloses en el quadre anterior. D'aquesta manera, per a cada període es representa l'estalvi produït en funció de la potència contractada.



**Figura 49.** Estalvi presentat en el període 1 en funció de la potència contractada



**Figura 50.** Estalvi presentat en el període 2 en funció de la potència contractada



**Figura 51.** Estalvi presentat en el període 3 en funció de la potència contractada

Finalment, es conclou que la millor proposta de contractació és la següent.

Potència Contractada (P1)	Potència Contractada (P2)	Potència Contractada (P3)
35 kW	46 kW	6 kW

**Taula 57.** Resum final de la potència òptima a contractar pel centre educatiu Liceo Egara

L'estalvi total derivat de la nova contractació seria de **2.918** euros, la qual cosa suposaria una facturació total en termes de potència de **4.306** euros en contraposició als 7.224,09 euros previs a la millora.

És important tenir en compte les opcions de contractació ofertes per les companyies elèctriques així com les condicions que aquestes imposen per tal d'arribar a la millor solució.

#### 12.4. Propostes de Finançament del Projecte

La finalitat principal d'aquest apartat és cobrir la inversió inicial destinada al projecte educatiu i, en cas de ser possible, part de la inversió inicial total.

Es proposen tres vies diferents per aconseguir finançar el projecte.

### 12.4.1. Aportació de les Famílies

La primera via proposa un finançament promocionat a través de l'AMPA (Associació de Mares i Pares) de la mateixa escola *Liceo Egara* ja que, existeixen unes finalitats educatives derivades de la instal·lació minieòlica que poden ser d'interès per les famílies inscrites en l'esmentat centre educatiu (consultar l'apartat "13.1. Disseny i Descripció del Projecte Educatiu").

El procés de finançament plantejat en aquest apartat consisteix en afegir un nou apartat o assumpte en el document de matriculació de l'alumnat on es proposi a les famílies de l'escola la seva participació en el present projecte a través d'una petita aportació econòmica de 3, 5 o 8 euros, totalment voluntària.

Els paràgrafs redactats a continuació determinen un petit estudi el qual, mitjançant unes hipòtesis de previsió en la participació de les famílies, té l'objectiu d'establir la quantitat econòmica aproximada recaptada al llarg de la vida útil de la instal·lació i el percentatge que suposa això sobre els costos del projecte. En última instància, la finalitat d'aquesta proposta és millorar la viabilitat econòmica de la instal·lació minieòlica i els recursos necessaris per dur a terme la proposta educativa plantejada.

Seguidament es plantegen les hipòtesis establertes per calcular la quantia recaptada.

- ✓ Es considera l'estratègia d'oferir a les famílies tres possibles aportacions econòmiques (3, 5 o 8 euros) amb l'objectiu d'incrementar la participació d'aquestes. Per aquest motiu es considera una participació del 65% del total de famílies inscrites en l'escola.
- ✓ Tenint en compte la participació determinada en el punt anterior, es considera que d'aquesta totalitat de famílies que consideren aportar ingressos destinats al projecte, un 70% ho farà mitjançant el pagament de 3 euros, un 25% aportarà la xifra de 5 euros i finalment, un 5% participarà en el projecte aportant 8 euros.

La distribució d'aquests percentatges es realitza de manera subjectiva, considerant que la majoria de famílies participants optaran per realitzar una aportació econòmica de manera reservada i conservadora, destinant petits ingressos. Només una petita part d'aquestes famílies estaran disposades a aportar una inversió major, per diversos motius: bona economia familiar, interès elevat pel projecte, etc.

- ✓ Per calcular l'alumnat total present en el centre escolar objecte de l'estudi es parteix de la informació aportada per l'escola. Tanmateix, la ràtio d'alumnes per aula pot variar en funció de diversos factors, consegüentment els càlculs es realitzen mitjançant les ràtios establertes per la legislació vigent.

- ✓ L'estudi de viabilitat i el projecte de la instal·lació minieòlica es realitza sobre una part de l'escola que contempla "l'edifici original", tal com s'ha establert en apartats previs. No obstant, s'inclou la participació de les famílies relatives a l'etapa educativa de Secundària ja que, malgrat estar situada en el nou edifici, l'alumnat de l'esmentada etapa té accés al projecte educatiu i pot beneficiar-se d'aquest. Addicionalment, el centre té previst el plantejament d'una administració global que inclogui tots els edificis del centre per tant, la facturació elèctrica i en conseqüència l'efecte de la instal·lació minieòlica serà conjunt.

El quadre mostrat a continuació recull de manera simplificada i resumida les dades quantitatives referents a l'alumnat del centre educatiu *Liceo Egara*.

Etapa Educativa	Cursos per Etapa	Nombre de Línies	Nombre d'Alumnes per Aula	TOTAL d'Alumnes per Etapa
Llar d'infants	P1 i P2	4	20	160
Infantil	P3, P4 i P5	3	25	225
Primària	Primer a Sisè	3	25	450
Secundària	Primer a Quart	2	30	240
<b>Total d'Alumnes inscrits al Centre Educatiu</b>				<b>1.075</b>
<b>Total de Famílies Participants en el Projecte (65%)</b>				<b>698</b>

*Taula 58. Resum de les dades quantitatives referents a l'alumnat del centre educatiu Liceo Egara*

A partir de la informació proporcionada per la taula anterior i les hipòtesis sobre la participació establertes prèviament, es calcula la xifra econòmica aproximada prevista a ser recaptada. La informació continguda en aquest paràgraf s'expressa en forma de quadre resum.

Opció d'Aportació	Percentatge de Participació	Nombre de Famílies Participants	Total Recaptat
3 €	70 %	489	1.467 €
5 €	25 %	173	865 €
8 €	5 %	36	288 €
<b>Total Anual</b>			<b>2.620 €</b>
<b>Total Recaptat al llarg de la Vida Útil de la Instal·lació (2 anys)</b>			<b>65.500 €</b>

*Taula 59. Dades relatives a la recaptació econòmica provinent de les famílies del centre*

En relació als càlculs anteriors i suposant un escenari majoritàriament realista, seria necessari contemplar l'economia general del país i el grau de satisfacció de les famílies en referència al projecte al llarg dels anys establerts. No obstant, amb la finalitat de facilitar els càlculs i davant la impossibilitat d'obtenir aquesta informació es decideix considerar una participació estable al llarg de la vida útil de la instal·lació minieòlica per part de les famílies.

Es conclou que els resultats obtinguts són més que favorables i inclús superen la inversió inicial total del projecte.

Amb l'objectiu de no recaptar més ingressos dels necessaris es proposa implantar un sistema mitjançant el qual les famílies estiguin informades en tot moment sobre el procés, amb l'objectiu de poder aturar-lo quan s'aconsegueixi la xifra desitjada. Aquest sistema pot ser present físicament a la mateixa escola o virtualment a través de la web del centre, de manera que les famílies sàpiguin en tot moment les quantitats monetàries que s'estan movent.

Realitzant uns càlculs aproximats, es preveu que el projecte educatiu queda finançat per complet en 2 anys. En cas de considerar la totalitat del projecte, incloent la instal·lació minieòlica, el temps augmentaria a 6 anys. Aquesta situació suposaria una viabilitat econòmica total, en la qual els beneficis serien considerables en els tres escenaris plantejats (optimista, moderat i pessimista).

#### 12.4.2. Crowdfunding

El *crowdfunding* és un tipus de finançament basat en la cooperació col·lectiva, portat a terme per persones que realitzen una xarxa per aconseguir diners o altres recursos. Generalment, s'utilitza Internet com a medi per finançar esforços i iniciatives d'altres persones o organitzacions.

Amb l'objectiu de disminuir la inversió inicial per part de l'escola *Liceo Egara* i maximitzar la viabilitat del present projecte, es proposa aplicar aquest mètode de finançament.

*El funcionament general del crowdfunding és el següent: [26]*

- 1. L'emprenedor, en aquest cas el centre educatiu Liceo Egara, envia el projecte a la plataforma de crowdfunding. L'esmentat projecte pot ser valorat de manera comunitària o per la mateixa plataforma de crowdfunding.*
- 2. Es publica el projecte per un temps determinat, el qual pot ser de 30, 60, 90 o 120 dies.*
- 3. Es promociona el màxim possible.*
- 4. Finalitzat el termini preestablert, s'obté el resultat final, és a dir si el projecte és finançat o no.*

És important clarificar que existeixen diversos tipus de *crowdfunding*, i en el cas del present projecte el tipus aplicat és el referent a les donacions, el qual es caracteritza per ser utilitzat principalment per organitzacions sense ànims de lucre. Així doncs, es basa en una donació gestionada a través d'Internet. El punt diferencial respecte els altres tipus de *crowdfunding* és el fet que, en aquest cas,



el donant no rep res material en forma de preventa, únicament la satisfacció d'haver donat suport a un projecte que era del seu interès, i com a molt se li aporta informació sobre l'evolució del projecte o algun detall que no serà venut posteriorment.

Pel cas particular del centre educatiu *Liceo Egara* i amb la finalitat d'atribuir al projecte una imatge més desitjable per motivar als possibles donants, es proposa oferir als esmentats la possibilitat de visitar la instal·lació minieòlica i l'accés a les dades d'interès relatives a aquesta.

Alguns exemples de webs dedicades al *crowdfunding* on seria possible promocionar el present projecte són les definides a continuació.

- ✓ **Netstarter.** Plataforma crowdfunding de suport a iniciatives d'emprenedoria i creació d'empreses i a projectes o iniciatives socials.
- ✓ **Ecrowdinvest.** És una web d'inversió col·lectiva en préstecs a projectes rendibles de l'economia real i que tinguin impacte social o mediambiental positiu.
- ✓ **Realfunding.org.** Dirigides a organitzacions d'impacte social o mediambiental.
- ✓ **Sunfunder.** Es centra en la producció d'energies alternatives.
- ✓ **Greenfunder.** Dedicada a projectes ecològics i socialment responsables.

Considerant aquesta via de finançament, la xifra a establir seria 5.193,6 €, relativa al projecte educatiu.

#### 12.4.3.Subvencions de Sistemes Institucionals

El present apartat té la finalitat de proporcionar informació sobre la possibilitat de sol·licitar ajudes econòmiques a determinats sistemes institucionals per finançar el projecte de la instal·lació minieòlica proposada.

Existeixen dos organismes principals mitjançant els quals es pot accedir a una subvenció econòmica. Per una part, a nivell particular, es considera l'Ajuntament de Terrassa. En termes més generals existeix l'ICAEN (Institut Català d'Energies), vinculat a la Generalitat de Catalunya. Cada comunitat autònoma ofereix el seu propi programa d'ajudes i subvencions amb requisits, tràmits, dates i quanties diverses per tant, a nivell Nacional no existeix un servei general.

Les subvencions i ajudes citades en l'apartat anterior es troben dintre de l'àmbit d'energies renovables. Addicionalment també es pot optar a deduccions fiscals sobre la inversió en l'Impost de Societats o en l'IRPF.

A partir de la posada en contacte amb ambdós organismes (l'Ajuntament de Terrassa i l'ICAEN) s'estableix que, actualment, no existeix cap programa d'ajudes destinat a l'Energia Eòlica. No obstant, es recomana revisar anualment les convocatòries emeses pel govern ja que, en anys previs les subvencions per energies renovables van ser presents i això implica que en algun moment futur es poden reobrir aquests programes, en tant que la situació econòmica del país influeix directament en aquest àmbit i la seva millora pot implicar l'aparició i l'augment d'aquestes subvencions.

Per obtenir la informació necessària sobre les ajudes i finançaments disponibles i consultar les bases i requeriments a complir cal accedir als portal web de les institucions implicades, els quals són:

- ✓ [icaen.gencat.cat](http://icaen.gencat.cat) (Apartat d'Ajudes i Finançament)
- ✓ [www.terrassa.cat](http://www.terrassa.cat) (Apartat de Subvencions Municipals)

## 13. Marc Educatiu

El bloc compost pels apartats redactats a continuació presenta la part del projecte enfocada a l'àmbit educatiu.

La finalitat d'aquest bloc és atribuir a la instal·lació minieòlica atribucions docents que serveixin de recurs a professors, mares, pares i alumnat.

### 13.1. Disseny i Descripció del Projecte Educatiu

La proposta educativa es compon de dos blocs principals, per una part la pròpia instal·lació minieòlica, projecte desenvolupat al llarg del document. El segon bloc el determina una maqueta a escala formada per alguns models d'aerogeneradors de baixa potència.

#### 13.1.1. Instal·lació Minieòlica

Les turbines eòliques col·locades a l'escola *Liceo Egara* posseeixen finalitats econòmiques, mediambientals i educatives.

El fet de localitzar la instal·lació minieòlica en una escola ofereix la possibilitat d'atribuir al projecte un enfocament educatiu a nivell particular del centre i a nivell general sobre la societat.

Els següents paràgrafs defineixen i determinen els recursos necessaris per dotar a la instal·lació, objecte del present treball, atribucions educatives amb l'objectiu final de proporcionar noves eines i recursos al personal docent del centre i transmetre als estudiants noves vies d'ensenyament. Així doncs, es procedeix a exposar els requisits necessaris per desenvolupar les idees comentades anteriorment.

En primer lloc, és necessari localitzar les turbines eòliques en una ubicació visible des de la zona d'esbarjo. Aquest punt ha sigut tractat prèviament en l'apartat "7.2. Aspectes d'Impacte Visual".

En segon lloc, oferir informació d'interès sobre l'àmbit energètic i les energies renovables en general, i sobre la pròpia instal·lació en particular. Mitjançant la col·locació d'un tòtem informatiu posicionat de manera estratègica a la zona d'esbarjo es pretén desenvolupar el present punt. D'aquesta manera el personal docent disposa d'un recurs pràctic per donar suport als coneixements teòrics impartits.



**Figura 52.** Model de tòtem OBIDOS proveït per l'empresa DPAPEL [27]

<b>Descripció</b>	Tòtem lluminós de forma corba de doble cara.
<b>Material</b>	Base d'acer pintat de color gris.
<b>Dimensionat</b>	Disponible en diverses mesures.
<b>Preu</b>	159 €/unitat

**Taula 60.** Especificacions relatives al model de tòtem OBIDOS proveït per l'empresa DPAPEL [27]

Es proposa la col·locació d'un tòtem en la cantonada del segon nivell de la zona d'esbarjo ja que, és el lloc on la visualització del sostre de l'edifici 3 (ubicació final dels mini-aerogeneradors) és més clara i còmode. Addicionalment, el fet de situar el tòtem a una cantonada no implica una gran pèrdua d'espai destinat a la zona de jocs i activitats de l'alumnat.

Per clarificar aquesta informació es proporciona la següent imatge la qual pretén, de manera esquemàtica, indicar els punts definits a prèviament.



**Figura 53.** Localització aproximada del tòtem en la zona d'esbarjo [31]

Finalment, amb l'objectiu d'explotar al màxim el rendiment educatiu de la instal·lació eòlica de baixa potència, s'inclou la col·locació de diversos comptadors elèctrics en els punts més concorreguts del centre. D'aquesta manera, el personal vinculat amb l'escola (professorat, altres treballadors, alumnes, pares i mares, visitants, etc.) disposa d'una eina per saber a temps real i en tot moment la quantitat d'energia neta generada mitjançant els mini-aerogeneradors.

Es proposa la col·locació de quatre comptadors repartits en els diversos accessos als edificis que formen l'escola i els espais més transitats d'aquesta amb l'objectiu de facilitar i garantir la disponibilitat de les dades extretes dels comptadors a la major quantitat de personal possible, donat que són els punts més concorreguts i difícils d'evitar.

Amb la finalitat de proporcionar un possible model de comptador, es selecciona el producte subministrat per l'empresa *Cablematic*.



**Figura 54.** Exemple real del model de comptador proporcionat per Cablematic [40]

Especificacions	
<b>Voltatge d'Operació</b>	3 x 230/400 VAC
<b>Trifàsic</b>	3 fases x 4 fils
<b>Freqüència</b>	50 Hz
<b>Intensitat Màxima</b>	3 x 30 A
<b>Mida</b>	142 x 216 x 63 mm
<b>Pantalla</b>	Visor LCD Multifunció
<b>Preu</b>	148,31 €

**Taula 61.** Especificacions del model de comptador proporcionat per Cablematic [40]

### 13.1.2. Maqueta a Escala

Els aerogeneradors de baixa potència *Bornay 6kW* s'estableixen com un bon exemple de turbines d'eix horitzontal. Existeix una ampla gamma d'aerogeneradors d'eix vertical també utilitzats en la minieòlica. Per aprofundir sobre aquests últims, de la mateixa manera que es realitza amb els de tipus d'eix horitzontal, es proposa dotar al centre amb una maqueta a escala d'alguns exemples de turbines d'eix vertical.

Així doncs, s'aconsegueix complementar la proposta educativa de l'escola *Liceo Egara* convertint-la en un exemple i un recurs per a altres institucions en l'àmbit de l'energia minieòlica.

Els mini-aerogeneradors que componen la maqueta són quatre: Savonius, Darrieus, Giromill i Gorlov, representants dels tipus de turbines d'eix vertical més importants i utilitzades.

El disseny i la construcció de la maqueta corre a càrrec de l'empresa "*Maquetas Axfito*" [28]. L'esmentada companyia elabora els seus productes segons les especificacions marcades pel client i ofereix la possibilitat d'automatitzar les turbines. A través del contacte amb aquest proveïdor, s'obtenen les característiques i especificacions del seu producte.

- ✓ Model a escala 1:50.
- ✓ Dissenyat per ser utilitzat en exterior i interior.
- ✓ Possibilitat de personalitzar en color i imatge amb logotip i text.
- ✓ Alçada definida per el client.
- ✓ Fabricació de turbines en versió terrestre i en versió marina.
- ✓ Els materials emprats en la construcció dels artefactes són: PVC, fibra de vidre, resina de poliuretà, eix d'alumini i rodaments.
- ✓ Disseny desmuntable per facilitar el seu transport.

En quant al preu, aquest varia segons el tipus de maqueta (funcional o no).

Tipus de Modalitat	Preu (€)
<b>No Funcional – Modalitat A</b>	1.380
<b>Funcional – Modalitat B</b>	1.690

*Taula 62. Preu relatiu a la modalitat de maqueta de mini-aerogenerador (inclou mà d'obra, elaboració del projecte, caixa d'emballatge i transport). Annex XI*

La informació anterior pertany al model 3 relatiu a una turbina eòlica d'eix horitzontal disponible en *stock*. En el contacte establert amb el proveïdor, aquest assegura la possibilitat de fabricar models de mini-aerogeneradors de tipus vertical amb un preu inclús més econòmic. No obstant, en el present projecte s'utilitza la informació referent al model 3 per establir el pressupost final i realitzar l'estudi de viabilitat econòmica.

Accedint a "*l'Annex XI del "Document 4 – Annexos"*" es pot consultar en detall el pressupost emès per l'empresa proveïdora de les maquetes, així com les característiques i especificacions d'aquestes.

Les següents imatges mostren el model 3 d'aerogenerador d'eix horitzontal elaborat per l'empresa "*Maquetas Axfito*".





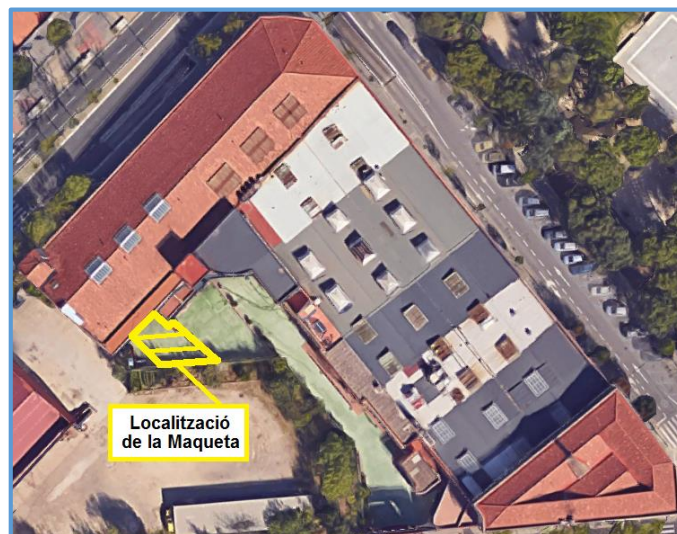
**Figura 55.** Model 3 del mini-aerogenerador (I)



**Figura 56.** Model 3 del mini-aerogenerador (II)

Es decideix adquirir la modalitat no funcional de la maqueta per dos raons fonamentals. En primer lloc a causa de l'aspecte econòmic, cada aerogenerador funcional augmenta 310 euros la inversió. La segona raó recau sobre la instal·lació i el manteniment de la maqueta, la qual es dificulta en la seva modalitat funcional. L'elecció d'una maqueta no funcional no entra en contraposició amb cap requisit preestablert ni disminueix el valor educatiu del projecte, per tant es posiciona com l'opció més viable i adequada.

Es proposa ubicar la maqueta, amb els quatre aerogeneradors en l'últim nivell de la zona d'esbarjo tal com es mostra, de manera esquematitzada, en la següent figura.

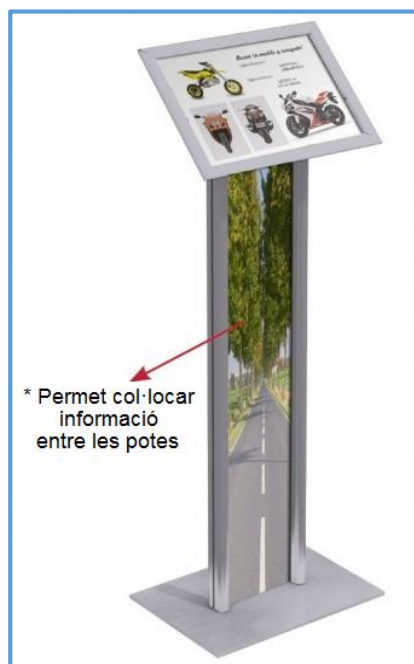


**Figura 57.** Proposta sobre la localització de la maqueta [31]



Com en el cas de la instal·lació mini-eòlica, es proposa situar porta-gràfiques informatives entre les turbines que componen la maqueta amb la finalitat de completar i consolidar el recurs educatiu.

Els faristols informatius seleccionats per ser col·locats a la maqueta són proporcionats per l'empresa "DPAPEL" (mateixa empresa subministradora dels tòtems informatius). La següent imatge mostra el producte esmentat, juntament amb les especificacions d'aquest.



**Figura 58.** Model de faristol proveït per l'empresa DPAPEL [27]

<b>Dimensionat</b>	A3
<b>Material</b>	Alumini
<b>Suport</b>	Doble masteler amb possibilitat d'inserció d'una gràfica entre les potes.
<b>Preu</b>	49 €/unitat

**Taula 63.** Especificacions relatives al model de faristol informatiu proveït per l'empresa DPAPEL [27]

Es proposa la col·locació de quatre porta-gràfiques informatives, una per cada tipus d'aerogenerador que forma la maqueta.

## 14. Conclusions

Amb l'objectiu d'establir les conclusions finals del present projecte es decideix analitzar individualment cadascun dels requisits bàsics plantejats a l'inici del document.

En primer lloc la instal·lació ha de cobrir un mínim del 15% de les necessitats energètiques anuals del centre educatiu. Tanmateix, com s'estableix prèviament en l'apartat “4.3. *Necessitats Energètiques*” d'aquest document, es considera que amb els resultats de la demanda energètica obtinguts en l'anàlisi i estudi de les factures elèctriques proporcionades pel centre, el requeriment inicial de cobertura energètica del 15% es modifica a un rang de cobertura situat entre el 10% i el 15%. Amb aquesta nova premissa s'amplia la viabilitat del projecte i la instal·lació continua aportant una cobertura considerable, tenint en compte l'ordre de magnitud de les dades tractades.

La taula mostrada a continuació recupera els resultats necessaris per avaluar el requeriment sobre la cobertura energètica.

<b>Energia Generada Teòrica (Considerant 41% en pèrdues)</b>			<b>11.400 kWh</b>
<b>15% del Consum Anual</b>			<b>8.731 kWh</b>
<b>Tipus d'Escenari</b>	<b>Percentatge d'Aprofitament Energètic</b>	<b>Energia Generada</b>	<b>Cobertura Energètica</b>
<b>Optimista</b>	100%	11.400 kWh	20%
<b>Moderat</b>	77 %	8.731 kWh	15%
<b>Pessimista</b>	50%	5.700 kWh	10%

*Taula 64. Cobertura energètica i energia generada per la instal·lació segons l'escenari presentat*

S'observa que inclús considerant un 41% de pèrdues energètiques, assumint un criteri conservador, en el cas de l'escenari optimista es compleix el requeriment esmentat per sobre de les expectatives inicials, superant la xifra de generació energètica en 2.669 kWh anuals i aportant una cobertura elèctrica del 20%. L'escenari moderat, compleix amb el requeriment de manera ajustada, aprofitant un 77% de l'energia generada teòrica produïda. Finalment, el cas pessimista mostra un dèficit energètic de 3.031 kWh anuals aportant un 10% de la demanda total. No obstant, es considera que els tres escenaris presenten una cobertura acceptable, tenint en compte la gran demanda energètica produïda a l'escola *Liceo Egara*. Per tant, s'aconsegueix complir amb el requeriment de cobertura energètica.

El segon dels requeriments plantejats és la recuperació de la inversió inicial en un termini de 20 anys com a màxim. Recuperant les dades calculades en l'apartat “12.2.3. *Retorn de la Inversió (ROI)*” es realitza el quadre mostrat a continuació.

Retorn de la Inversió (ROI)		
Escenari Optimista	Escenari Moderat	Escenari Pessimista
16,37 anys	22,22 anys	34,63 anys

Taula 65. Retorn de la inversió inicial en anys en funció de l'escenari presentat

Per una altra banda s'estableix que la recuperació de la inversió, en els 20 anys determinats pel requeriment, es garanteix mitjançant una cobertura energètica del 16,55% per part del sistema eòlic. Considerant els anys de vida útil establerts pel fabricant de turbines *Bornay* (25 anys), aquesta cobertura es podria reduir al 13%.

Analitzant els resultats obtinguts es determinen les següents premisses.

Primerament, s'observa que la recuperació de la inversió en els 20 anys establerts inicialment únicament es dona en els casos on la instal·lació és capaç de cobrir entre un 20 i un 17 per cent de l'energia total demandada per l'escola. És a dir, que únicament en un escenari optimista s'assegura el compliment del requeriment tractat. No obstant, el criteri referent a l'establiment dels anys per a la recuperació de la inversió inicial (20 anys) va ser emès considerant la vida útil d'un mini-aerogenerador en termes generals.

En el cas concret de l'aerogenerador *Bornay 6kW*, aquest valor s'estableix en 25 anys de vida útil, per tant es considera acceptable un retorn d'inversió coincident amb aquest valor. D'aquesta manera, el requeriment és complert en tots els escenaris excepte el pessimista i la cobertura energètica necessària per aconseguir aquest objectiu s'estableix com a mínim en un 13%, valor més fàcilment assumible.

Durant la realització del projecte es cerca minimitzar la inversió inicial necessària per a l'execució d'aquest amb l'objectiu de recuperar aquesta inversió o augmentar la viabilitat econòmica del sistema implantat. La taula següent resumeix la informació presentada en la taula "45. Balanç econòmic final segons l'escenari plantejat" de l'apartat "12.2.4. Balanç Econòmic sobre la Instal·lació Minieòlica", recollint els guanys i costos derivats del present projecte amb l'objectiu de plantejar l'avaluació econòmica final.

Any	Optimista		Moderat		Pessimista	
	Guanys (€)	Costos (€)	Guanys (€)	Costos (€)	Guanys (€)	Costos (€)
1r	1.530,07	23.800	-22.269,93	1.148	23.800	-22.652
5é	7.650,36	24.120	-16.469,64	5.738	24.120	-18.382
10é	15.300,72	24.520	-9.219,28	11.476	24.520	-13.044
15é	22.951,08	24.920	-1.968,92	17.213	24.920	-7.707
20é	30.601,44	25.320	5.281,44	22.951	25.320	-2.369
25é	38.251,80	25.720	12.531,80	28.689	25.720	2.969
<b>Benefici Total</b>	<b>12.531,80 €</b>		<b>2.968,85 €</b>		<b>-6.594,10 €</b>	

Taula 66. Resum del balanç econòmic derivat de la instal·lació minieòlica segons l'escenari presentat

S'estableixen dos escenaris on es recupera la inversió inicial i addicionalment es produeix un benefici econòmic. En el cas pessimista es produeix una pèrdua de 6.594,10 euros, esperable tenint en compte els resultats comentats anteriorment sobre el retorn de la inversió.

Tanmateix, el projecte no es centra en la producció de beneficis sinó que cerca la millora de la petjada ecològica de l'escola *Liceo Egara* amb l'ús d'un sistema econòmicament viable que permeti generar un cert estalvi en la facturació elèctrica del centre educatiu.

Incidint sobre les dades relatives a l'aspecte ecològic, s'afirma que la instal·lació compleix satisfactòriament amb el requeriment de reducció de l'impacte mediambiental, ja que les turbines minieòliques que componen el sistema final proporcionen un estalvi energètic major a l'emprat en la seva producció.

Finalment, la proposta educativa plantejada en el projecte permet atribuir a la instal·lació minieòlica un ús docent i aportar un espai educatiu per al personal del centre, contribuint en la millora de la consciència social sobre les energies renovables.

## 15. Bibliografia i Webgrafia

### 15.1. Fonts Bibliogràfiques

- [1] Fernando Pérez Díez; Javier López Martínez. *L'energia minieòlica*. 2010, Col·legi d'Enginyers Tècnics Industrials de Barcelona (CETIB).
- [2] Paul Gipe. *Energía Eólica Práctica*. 2000, Progensa. ISBN 84-86505-88-7.
- [3] Antonio Creus Solé. *Aerogeneradores*. 2008, Cano Pina, S.L. – Ediciones Ceysa. ISBN 978-84-96960-21-3.

### 15.2. Fonts Digitals

- [4] Certificados Energéticos [en línia]. La paradoja de la energía minieólica, 2014 a: <<http://www.certificadosenergeticos.com/paradoja-energia-minieolica>>
- [5] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (*Fenercom*) [en línia]. Guía sobre Tecnología Minieólica, 2012. Disponible a: <<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-tecnologia-minieolica-fenercom-2012.pdf>>
- [6] Asociación de Empresas de Energías Renovables (*APPA*) [en línia]. ¿Qué es la Energía Minieólica?, 2009. Disponible a: <[http://www.appa.es/12minieolica/12que\\_es.php](http://www.appa.es/12minieolica/12que_es.php)>
- [7] En Buenas Manos (*ebm*) [en línia]. Ventajas de la energía eólica y algunas desventajas. Disponible a: <<http://www.enbuenasmanos.com/ventajas-de-la-energia-eolica#ventajas-de-la-energia-eolica>>
- [8] Roble [en línia]. Unidad 11, Energía y transformación. Disponible a: <[http://roble.pntic.mec.es/jprp0006/tecnologia/1eso\\_recursos/unidad11\\_energia\\_y\\_transformacion/teoria/teoria2.htm](http://roble.pntic.mec.es/jprp0006/tecnologia/1eso_recursos/unidad11_energia_y_transformacion/teoria/teoria2.htm)>
- [9] Office of Energy efficiency & Renewable Energy [en línia]. Advantages and Challenges of Wind Energy. Disponible a: <<http://energy.gov/eere/wind/advantages-and-challenges-wind-energy>>
- [10] Wikipedia [en línia]. Aerogenerador, 2017. Disponible a: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>>
- [11] Parque Eólico Experimental SOTAVENTO [en línia]. Instalaciones Eólicas, Funcionamiento, 2017. Disponible a: <<http://www.sotaventogalicia.com/es/area-tecnica/instalaciones-eolicas/funcionamiento>>
- [12] Liceo Egara [En línia]. Disponible a: <<http://liceoegara.org/>>

- [13] NERGIZA [en línea]. Tarifa 3.0 (>15 kW): todo lo que tienes que saber, 2015. Disponible a: <<https://nergiza.com/tarifa-3-0-15-kw-todo-lo-que-tienes-que-saber/>>
- [14] Potencia Eléctrica Gestión Energética [en línea]. Tarifa 3.0A: toda la información, 2015. Disponible a: <<http://potenciaelectronica.es/tarifa-3-0-a-toda-la-informacion/>>
- [15] Femeval [en línea]. Taller N°1: Análisis tarifario i optimización de la factura energética. Disponible a : <<http://eficienciaenergetica.femeval.es/Documentos/Documentaci%C3%B3n%20Taller%20sobre%20facturaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.pdf>>
- [16] IDAE y Ministerio de Energía, Turismo y Agenda digital [en línea]. Atlas Eólico. Disponible a: <<http://atlaseolico.idae.es>>
- [17] Sun EarthTools [en línea]. Sun Position. Disponible a: <[www.sunearthtools.com](http://www.sunearthtools.com)>
- [18] Wikipedia [en línea]. Decibelio, 2017. Disponible a: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Decibelio>>
- [19] SlideShare [en línea]. El Sonido. A. J. Barbero. Dept. Física Aplicada (2004 – 2005). Disponible a: <<https://es.slideshare.net/pgonzalez06/sonido-13570982>>
- [20] INERCO Acústica [en línea]. ¿Cómo se suman las fuentes sonoras (suma de dB)?. Disponible a: <<http://www.inercoacustica.com/acustipedia/item/233-%C2%BFc%C3%B3mo-se-suman-las-fuentes-sonoras-suma-de-db>>
- [21] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE) [en línea]. Ley 16/2002, 28 de junio, de Protección contra la Contaminación Acústica. BOE. Disponible a: <[https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-14987](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-14987)>
- [22] Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya [en línea]. Recull legislatiu de la Generalitat de Catalunya per a la gestió i avaluació de l'acústica ambiental. Generalitat de Catalunya, Dept. Medi Ambient i Habitatge, 2010. Disponible a: <[http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/atmosfera/contaminacio\\_acustica/jornades\\_cursos/2010/recull.pdf](http://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/atmosfera/contaminacio_acustica/jornades_cursos/2010/recull.pdf)>
- [23] Ekidom Energías Renovables [en línea]. Tipos de instalaciones minieólicas. Disponible a: <<http://www.ekidom.com/tipos-de-instalaciones-minieolicas>>
- [24] AutoSolar [en línea]. Baterías. Disponible a: <<https://autosolar.es/baterias>>

- [25] Alba Solar [en línia]. Real Decreto de Autoconsumo. Disponible a: <[http://albasolar.es/wp-content/uploads/2017/03/RD\\_900\\_2015\\_11\\_nov\\_2015.pdf](http://albasolar.es/wp-content/uploads/2017/03/RD_900_2015_11_nov_2015.pdf)>
- [26] Universo Crowfundig [en línia]. Tipos de crowdfunding. Disponible a: <<http://new.universocrowdfunding.com/tipos-de-crowdfunding/>>
- [27] DPAPEL [en línia]. Disponible a: <<https://www.depapel.es/>>
- [28] Maquetas Axfito [en línia]. Disponible a: <<http://blog.maquetasaxfito.com/>>
- [29] ScienceDirect [en línia]. Environmental impacts of micro-wind turbines and their potential to contribute to UK climate change targets. Disponible a: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213005355>>
- [30] Wikipedia [en línia]. Life-cycle greenhouse-gas emissions of energy sources [7 gener 2017]. Disponible a: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle\\_greenhouse-gas\\_emissions\\_of\\_energy\\_sources](https://en.wikipedia.org/wiki/Life-cycle_greenhouse-gas_emissions_of_energy_sources)>
- [31] Google Maps [en línia]. Liceo Egara. Disponible a: <<https://www.google.es/maps/place/Liceo+Egara>>
- [32] Bornay [en línia]. Disponible a: <<https://www.bornay.com/es>>
- [33] Ostrovni Elektrarny [en línia]. HY Small Wind Turbine Special Features. Disponible a: <[http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/HY\\_DS.pdf](http://www.ostrovni-elektrarny.cz/docs/HY_DS.pdf)>
- [34] Wind Turbine Star [en línia]. Aeolos Wind Turbine. Diponible a: <<https://www.windturbinestar.com/uploads/pdf/aeolos-output.pdf>>
- [35] Small Wind Turbine [en línia]. ECO-2000W. Disponible a: <<https://www.windturbinestar.com/uploads/pdf/aeolos-output.pdf>>
- [36] Energías Renovables [en línia]. Normativa sobre Energías Renovables, 2014. Disponible a: <<http://www.energiasrenovablesinfo.com/general/normativa-energias-renovables/>>
- [37] Centrem [en línia]. RD 900/215. Disponible a: <<http://www.centrem.cat/ecomu/upfiles/greminoticia/fitxers/A1924.pdf>>
- [38] F2e, Fundación para la Eficiencia Energética [en línia]. Análisis del RD 900/2015 de autoconsumo. Disponible a: <[http://www.f2e.es/uploads/doc/20151204091955.01\\_unef\\_autoconsumo\\_in\\_out.pdf](http://www.f2e.es/uploads/doc/20151204091955.01_unef_autoconsumo_in_out.pdf)>
- [39] Boletín del Estado (BOE) [en línia]. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Disponible a: <<http://www.boe.es/boe/dias/2013/09/12/pdfs/BOE-A-2013-9511.pdf>>

[40] Cablematic [en línea]. Contador mediador de electricidad digital trifásico.

Disponible a:

<[https://www.cablematic.es/ref/DE24?gclid=CjwKEAjjwPXIBRDhwICRg-DbgHISJADP6QXpKaT5CeXrcKY3f4dBwGYDOFHrIvgEqbyw\\_zNxCs\\_rDRoCrwDw\\_wcB](https://www.cablematic.es/ref/DE24?gclid=CjwKEAjjwPXIBRDhwICRg-DbgHISJADP6QXpKaT5CeXrcKY3f4dBwGYDOFHrIvgEqbyw_zNxCs_rDRoCrwDw_wcB)>

[41] Inti.gob [en línea]. Análisis de Ciclo de Vida Aerogenerador IVS 4500, 2012.

Disponible a: <[https://www.inti.gob.ar/e-](https://www.inti.gob.ar/e-renova/erEO/pdf/Tesis_energia_eolica_Ing_Ignacio_Sagardoy.pdf)

[renova/erEO/pdf/Tesis\\_energia\\_eolica\\_Ing\\_Ignacio\\_Sagardoy.pdf](https://www.inti.gob.ar/e-renova/erEO/pdf/Tesis_energia_eolica_Ing_Ignacio_Sagardoy.pdf)>

[42] INTECH [en línea]. Life Cycle Analysis of Wind Turbine, 2012. Disponible a:

<<http://cdn.intechopen.com/pdfs/29930.pdf>>